NAZIONALE
B. Prov.
I
68
NAPOLI
BIBLIOTECA
VITT. EM. III

BIBLIOTECA PROVINCIALE
26-2-22
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine 11 E 260 11

B Pur
XXII
16
I-68.

# RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES.

## TOME SECOND.

Digitized by Google

109648

# RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES,

QUI CONTIENNENT les Problêmes et les Questions les plus remarquables, et les plus propres à piquer la curiosité, tant des Mathématiques que de la Physique ; le tout traité d'une maniere à la portée des Lecteurs qui ont seulement quelques connaissances légeres de ces Sciences.

Par M. OZANAM, de l'Académie royale des Sciences, etc.

NOUVELLE ÉDITION, totalement refondue et considérablement augmentée par M. de M * * *.

TOME SECOND.

Contenant la *Mécanique* et l'*Optique* avec l'*Acoustique* et la *Musique*.

BIBLIOTECA PROVINCIALE NAPOLI

A PARIS, RUE DAUPHINE,

Chez FIRMIN DIDOT, libraire pour les mathématiques, l'Artillerie et le Génie, grav. et fond. en caracteres.

M. DCC. XC.

# RÉCRÉATIONS
# MATHÉMATIQUES
## ET
# PHYSIQUES.

## TROISIEME PARTIE,

*CONTENANT divers Problêmes de Mécanique.*

APRÈS l'arithmétique & la géométrie, celle des ſciences phyſico-mathématiques dont la certitude paroît appuyée ſur les fondements les plus ſimples, eſt la mécanique; c'eſt auſſi celle dont les principes, combinés avec la géométrie, ſont les plus féconds, & le plus fréquemment employés dans les autres parties des mathématiques mixtes. Auſſi tous les mathématiciens qui ſe ſont attachés à ſuivre le développement des connoiſſances mathématiques, ſont-ils immédiatement

ſuccéder la mécanique aux mathématiques pures; & en cela nous les imiterons.

Au reſte, nous ſuppoſons ici nos lecteurs, comme dans toutes les autres parties des mathématiques que nous traiterons, nous les ſuppoſons, dis-je, inſtruits des principes fondamentaux de la ſcience dont nous parlons; par exemple, quant à la mécanique, des principes de l'équilibre & de l'hydroſtatique, des loix principales du mouvement, &c; car il n'eſt pas queſtion ici d'enſeigner ces principes, mais ſeulement de préſenter quelques-uns des problêmes les plus ſinguliers & les plus remarquables de la mécanique. Après cet avertiſſement, nous entrons en matiere.

## PROBLÊME I.

*Faire qu'une boule rétrograde ſans aucun obſtacle apparent.*

PLACEZ ſur le tapis d'un billard une bille, & frappez-la, ſur le côté, d'un coup perpendiculaire au billard & avec le tranchant de la main; vous la verrez marcher quelques pouces du côté où doit la porter ce coup; puis rétrograder en roulant, ſans avoir rencontré aucun obſtacle, & comme d'elle-même.

### *REMARQUE.*

CET effet n'eſt point contraire au principe de mécanique ſi connu, ſçavoir, qu'un corps mis une fois en mouvement dans une direction, continue de s'y mouvoir tant qu'aucune cauſe étrangere ne l'en détourne. Car, dans le cas propoſé, voici comment ſe paſſent les choſes.

Le coup imprimé, comme on vient de dire, à

la bille, lui donne deux mouvements, un de rotation autour de ſon centre, & un autre direct, par lequel ſon centre ſe meut parallélement au tapis, dans la direction du coup. Ce dernier mouvement ne s'exécute qu'en frottant ſur le tapis ; ce qui l'anéantit bientôt. Mais le mouvement de rotation autour du centre ſubſiſte ; &, le premier une fois ceſſé, il fait rouler la bille comme pour revenir ſur elle-même. Ainſi il n'y a, dans cet effet, rien que de très-conforme aux loix connues de la mécanique.

## PROBLÊME II.

*Faire une boule trompeuſe au jeu de Quilles.*

PRENEZ une boule de jeu de quilles, & faites-y un trou qui n'aille point juſqu'au centre ; mettez-y du plomb, & bouchez-le ſi bien qu'il ne ſoit pas aiſé de le découvrir. Quoiqu'on roule cette boule en la jettant droit vers les quilles, elle ne manquera pas de ſe détourner, à moins qu'on ne la jette, par haſard ou par adreſſe, de telle ſorte que le plomb ſe trouve deſſus ou deſſous en faiſant rouler la boule.

### *REMARQUE.*

C'EST-LA le principe du défaut qu'ont toutes les billes de billard ; car, comme elles ſont faites d'ivoire, & que dans une maſſe d'ivoire il y a toujours des parties plus ſolides les unes que les autres, il n'y a peut-être pas une bille dont le centre de gravité ſoit au centre de figure. Cela fait que toute bille ſe détourne plus ou moins de la ligne dans laquelle elle eſt pouſſée, lorſqu'on lui imprime un petit mouvement, comme pour donner ſon acquit vers le milieu de l'autre moitié du bil-

lard, à moins que l'endroit le plus lourd (qu'on appelle *le fort*) ne ſoit mis deſſus ou deſſous. J'ai ouï dire à un grand fabricateur de billards, qu'il donneroit deux louis d'une bille qui n'eût ni fort ni foible, mais qu'il n'en avoit jamais trouvé qui fût parfaitement exempte de ce défaut.

De-là il ſuit que, lorſqu'on tire ſur une bille fort doucement, on s'impute ſouvent de l'avoir mal priſe & d'avoir mal joué, tandis que c'eſt la ſuite du défaut de la bille qu'on a pouſſée. Un bon joueur de billard doit conſéquemment, avant de s'engager dans une forte partie, avoir adroitement éprouvé ſa bille, pour connoître le fort & le foible. Je tiens cette regle d'un excellent joueur de billard.

## PROBLÊME III.

*Comment on peut conſtruire une balance qui paroiſſe juſte étant vuide, auſſi-bien que chargée de poids inégaux.*

NOTRE deſſein n'eſt aſſurément pas d'enſeigner une ſupercherie auſſi condamnable, mais uniquement de montrer qu'on doit être en garde contre les balances qui paroiſſent les plus exactes, & qu'en achetant des matieres précieuſes, ſi on ne connoît pas le vendeur, il eſt à propos de faire l'eſſai de la balance. Il eſt en effet poſſible d'en faire une qui, étant vuide, ſera parfaitement en équilibre, & qui néanmoins ſera fauſſe. Voici comment.

Soient deux baſſins de balance inégaux en peſanteur; le plus peſant A, & le plus léger B. Si l'on donne aux bras de la balance des longueurs

inégales dans la même raiſon, & qu'on ſuſpende le baſſin le plus peſant A, à l'extrémité du bras le plus court, & le plus léger B, à celle du bras le plus long, ces baſſins, étant vuides, reſteront en équilibre. Mais ils y ſeront encore quand on y mettra des poids qui ſeront entr'eux dans la même raiſon que les baſſins. Ainſi celui qui ignorera l'artifice croira que ces poids ſeront égaux, & il ſera trompé.

Si, par exemple, un des baſſins peſoit 15 & l'autre 16, & que, réciproquement, les bras d'où ils ſeroient ſuſpendus euſſent l'un 16 pouces & l'autre 15 de longueur, il y auroit équilibre les baſſins étant vuides, & ils y reſteroient lorſqu'on y mettroit des poids qui ſeroient entr'eux dans le rapport de 15 à 16, le plus peſant étant mis dans le baſſin le plus lourd. Il ſeroit même difficile de s'appercevoir de cette inégalité des bras de la balance. A chaque peſée donc qu'on feroit avec cette balance, en mettant le poids dans le baſſin le plus peſant & la marchandiſe dans l'autre, l'acheteur ſeroit trompé d'un ſeizieme ou d'une once par livre.

Mais il y a un moyen facile de démêler la tromperie, c'eſt de tranſpoſer les poids; car, s'ils ne ſont plus en équilibre, c'eſt une preuve que la balance eſt infidelle.

## PROBLÊME IV.

*Trouver le centre de gravité de pluſieurs poids.*

LA ſolution de divers problêmes de mécanique dépend de la connoiſſance de la nature du centre de

gravité. C'eſt pourquoi nous allons expoſer ici les premiers traits de cette théorie.

On appelle centre de gravité dans un corps, le point autour duquel toutes ſes parties ſe balancent, de maniere que s'il étoit ſuſpendu par-là, il reſteroit indifféremment dans toutes les ſituations où on le mettroit autour de ce point.

Il eſt aiſé de voir que, dans les corps réguliers & homogenes, ce point ne peut être autre que celui de figure. Ainſi, dans un globe, dans un ſphéroïde, c'eſt le centre; dans un cylindre, c'eſt le milieu de l'axe.

On trouve le centre de gravité entre deux poids ou corps de différente peſanteur, en diviſant la diſtance de leurs points de ſuſpenſion en deux parties qui ſoient comme leurs poids, enſorte que la plus courte ſoit du côté du plus peſant, & la plus longue du côté du plus léger. C'eſt là le principe des balances à bras inégaux, où, avec un même poids, on peſe pluſieurs corps de différentes peſanteurs.

Lorſqu'il y a pluſieurs poids, on cherche par la regle précédente le centre de peſanteur de deux; on les ſuppoſe enſuite réunis dans ce point, & l'on cherche le centre de gravité commun avec le troiſieme poids, & les deux premiers réunis dans le point premiérement trouvé; & ainſi de ſuite.

Pl. 1, fig. 1. Soient, par exemple, les poids A, B, C, ſuſpendus des trois points D, E, F, de la ligne ou balance DF, que nous ſuppoſons ſans peſanteur. Que le poids A ſoit de 108 livres, B de 144, & C de 180; la diſtance DE de 11 pouces, & EF de 9 pouces.

Cherchez d'abord entre les poids B & C, le centre commun de gravité; ce que vous ferez, en diviſant la diſtance EF ou 9 pouces en deux

parties, qui ſoient comme 144 & 180, ou 5 & 4. Ces deux parties ſont 5 & 4 pouces, dont la plus grande doit être placée du côté du plus foible poids : ainſi, le poids B étant le moindre, on aura EG de 5 pouces, & FG de 4 ; conſéquemment, DG ſera de 16.

Suppoſez à préſent au point G les deux poids B & C réunis en un ſeul, qui ſera par conſéquent de 324 livres ; diviſez la diſtance DG, ou 16 pouces, dans la raiſon de 108 à 324, ou de 1 à 3 : l'une de ces parties ſera 12, & l'autre 4. Ainſi, le poids A étant moindre, il faut prendre DH égale à 12 pouces, & le point H ſera le centre de gravité commun des trois poids.

On eût trouvé la même choſe, ſi l'on eût commencé à réunir les poids A & B.

La regle eſt enfin la même, quel que ſoit le nombre des poids, & quelle que ſoit leur poſition dans une même ligne droite ou dans un même plan, ou non.

En voilà aſſez, pour cet ouvrage, ſur le centre de gravité : on doit recourir aux livres de mécanique, pour diverſes vérités curieuſes auxquelles cette conſidération donne lieu. Nous nous bornerons à obſerver un beau principe de mécanique qui en découle : le voici.

*Si pluſieurs corps ou poids ſont tellement diſpoſés entr'eux, qu'en ſe communiquant leur mouvement, leur centre de gravité commun reſte immobile, ou ne s'écarte point de la ligne horizontale, c'eſt-à-dire ne hauſſe ni ne baiſſe, alors il y aura équilibre.*

Ce principe porte preſque ſa démonſtration avec ſon énonciation ; & nous pourrions nous en

ſervir pour démontrer toutes les propriétés des machines: mais nous laiſſons au lecteur le ſoin de faire cette application.

## *REMARQUE.*

C'EST ici le lieu de remplir la promeſſe que nous avons faite dans le Tome précédent, page 411, de réſoudre un problême géométrique, dont nous avons dit que la ſolution ne nous paroiſſoit pouvoir ſe déduire que de la propriété du centre de gravité.

Pl. 1, fig. 2, n° 1. Soit donc le polygone irrégulier propoſé ABCDEA, dont les côtés ſoient diviſés en deux également en $a$, $b$, $c$, $d$, $e$, d'où réſulte le nouveau polygone $abcdea$; que ſes côtés ſoient diviſés pareillement en deux parties égales par les points $a'$, $b'$, $c'$, $d'$, $e'$, qui, réunis, donneront un troiſieme polygone $a'\,b'\,c'\,d'\,e'\,a'$; & ainſi de ſuite. Nous demandions dans quel point ſe terminera cette diviſion.

Pour le trouver, imaginez aux points $a, b, c, d, e$, &c. des poids égaux, & cherchez-en le centre de gravité; ce ſera le point cherché.

Fig. 2, n° 2. Or, pour trouver ce centre de gravité, on s'y prendra de la maniere ſuivante, qui eſt très-ſimple. Tirez d'abord $ab$, & que ſon milieu ſoit le point $f$; enſuite tirez $fc$, & partagez-la en $g$, de ſorte que $fg$ en ſoit le tiers; menez encore $gd$, & que $gh$ en ſoit le quart; ayant enfin mené $he$, que $hi$ en ſoit la cinquieme partie: le poids $e$ étant le dernier, le point $i$ ſera, comme on peut ſe le démontrer par ce qu'on a dit plus haut, le centre de gravité des cinq poids égaux placés en $a, b, c, d, e$, & réſoudra le problême propoſé.

## PROBLÊME V.

*Trouver les parties d'un poids que deux perſonnes ſoutiennent à l'aide d'un levier ou d'une barre qu'elles portent par ſes extrémités.*

IL eſt aiſé de voir que ſi le poids C étoit préciſément au milieu de la barre AB, les deux perſonnes en porteroient chacune la moitié. Mais ſi le poids n'eſt pas au milieu, on démontre, & il eſt aiſé de ſe le démontrer, que les parties du poids ſoutenu par les deux perſonnes, ſont en raiſon réciproque de leur diſtance au poids. Il eſt donc queſtion de le diviſer en raiſon des diſtances; & la plus grande portion ſera celle que ſoutiendra la perſonne la plus voiſine du poids, & la moindre ſera celle que ſoutiendra la plus éloignée. Ce calcul ſe fera par la proportion ſuivante. Pl. 1, fig. 3.

*Comme la longueur totale du lévier AB eſt à la longueur AE, ainſi le poids total eſt au poids ſoutenu par la puiſſance qui eſt à l'autre extrémité B;* ou comme AB eſt à BE, ainſi le poids total eſt à la partie ſoutenue par la puiſſance placée en A.

Soient, par exemple, AB de 6 pieds, le poids C de 150 livres, AE de 4 pieds, & BE de deux; vous aurez cette proportion, comme 6 eſt à 4, ainſi 150 à un quatrieme terme, qui ſera 100. Ainſi le porteur placé à l'extrémité B portera 100 livres; conſéquemment la puiſſance placée en A ne ſera chargée que de 50 livres.

### *REMARQUE.*

LA ſolution de ce problême donne le moyen de répartir un poids proportionnellement à la force

des agents qu'on emploie à le ſoulever. Car, ſi l'un des deux eſt, par exemple, de la moitié moins fort que l'autre, il n'y aura qu'à le placer à une diſtance du poids double de l'autre.

## PROBLÊME VI.

*Comment on peut diſtribuer commodément 4, 8, 16, 32 hommes, à porter un fardeau conſidérable ſans s'embarraſſer.*

Pl. 1, fig. 4. Si le fardeau peut être porté par quatre hommes, après l'avoir attaché au milieu d'un grand levier AB, faites porter les extrémités de ce levier ſur deux autres plus courts CD, EF, & à chacun des points C, D, E, F, appliquez un homme : il eſt évident que le poids ſera diſtribué également entre les quatre.

S'il faut huit hommes, faites à l'égard de chacun des leviers CD, EF, ce que vous avez fait à l'égard du premier, c'eſt-à-dire, que les extrémités du levier CD ſoient portées par les leviers plus courts *ab*, *cd*, & celles du levier EF par les leviers *ef*, *gh*; enfin mettez un homme à chacun des points *ab*, *cd*, *ef*, *gh* : vous aurez huit hommes également chargés.

On peut de même porter les extrémités des leviers ou barres, *ab*, *cd*, *ef*, *gh*, par de nouvelles barres diſpoſées à angles droits avec celles-là ; &, au moyen de cet artifice, le poids ſera diſtribué entre ſeize hommes ; & ainſi de ſuite.

J'ai ouï dire qu'on emploie à Conſtantinople cet artifice pour enlever les plus grands fardeaux, comme des canons, des mortiers, des pierres énormes, &c. On m'a ajouté que c'eſt une choſe

remarquable que la viteſſe avec laquelle on tranſporte ces fardeaux d'un lieu à un autre.

## PROBLÊME VII.

*Une corde ACB, d'une longueur déterminée, étant attachée lâche par ſes deux bouts, à deux points d'inégale hauteur A & B, on demande quelle poſition prendra le poids P, attaché par un cordon à une poulie qui roule librement ſur cette corde.*

DES points A & B ſoient abaiſſées les verticales indéfinies AD, BE; puis du point A, avec une ouverture de compas égale à la longueur de la corde, ſoit décrit un arc de cercle coupant la verticale BE en E, & du point B ſoit décrit un pareil arc de cercle coupant la verticale AD en D; ſoient enfin tirées les lignes AE, BD: leur interſection en C donnera la poſition de la corde ACB, lorſque le poids aura pris la ſituation où il doit reſter, & le point C ſera celui où s'arrêtera la poulie. Car on peut facilement ſe démontrer que, dans cette ſituation, le poids P ſera le plus bas qu'il eſt poſſible. Pl. 1, fig. 5.

## PROBLÊME VIII.

*Faire ſoutenir un ſeau plein d'eau, par un bâton dont une moitié ou moins repoſe ſur le bord d'une table.*

POUR bien faire entendre la maniere d'exécuter ce tour d'équilibre, qui eſt tout-à-fait mal expliqué dans les anciennes Récréations Mathématiques, ſoit dans le diſcours, ſoit dans la figure qui eſt

abſurde, nous repréſenterons ſeulement, dans la figure ſixieme, la coupe de la table & du ſeau.

Pl. 1, fig. 6. Dans cette figure, ſoit le deſſus de la table AB, ſur lequel eſt poſé le bâton CD. Sur ce bâton on paſſe l'anſe du ſeau HI, enſorte que ſon plan ſoit incliné, & que le milieu du ſeau ſoit en dedans du rebord de la table. Pour fixer enfin les choſes dans cette ſituation, on place un autre bâton GFE, qui appuie d'un bout contre l'angle G du ſeau, de ſon milieu contre le bord F, & par ſon autre extrémité contre le premier bâton CD en E, où doit être une entaille pour le retenir. Par ce moyen, le ſeau reſte fixe dans cette ſituation, ne pouvant s'incliner ni d'un côté ni de l'autre; & l'on peut, s'il n'eſt pas déja plein d'eau, l'en remplir avec aſſurance : car, ſon centre de gravité étant dans la verticale paſſant par le point I, qui rencontre elle-même la table, il eſt évident que c'eſt la même choſe que ſi le ſeau étoit ſuſpendu du point de la table où elle eſt rencontrée par cette verticale. Il eſt également viſible que le bâton ne ſçauroit couler le long de la table, ni prendre un mouvement ſur ſon bord, ſans faire monter le centre de gravité du ſeau & de l'eau qu'il contient. Plus enfin il ſera lourd, plus la ſtabilité ſera grande.

### *REMARQUE.*

On peut exécuter, d'après le même principe, divers autres tours du même genre, qu'on propoſe vulgairement dans les livres de mécanique.

Ayez, par exemple, un crochet recourbé DFG, comme on le voit dans la même figure; faites entrer la partie FD dans le trou de la tige d'une

clé CD, que vous poſerez ſur le bord d'une table; ſuſpendez au crochet G un poids; diſpoſez le tout enſorte que la verticale GH rencontre le rebord de la table quelque peu en dedans: ce poids ne tombera point, ni la clé, qui peut-être ſans cela eût tombé: ce qui réſoud cette ſorte de problême mécanique propoſé en forme de paradoxe: *Un corps tendant à tomber par ſon propre poids, l'empêcher de tomber, en lui ajoutant un poids préciſément du même côté qu'il tend à tomber.* Le poids paroît en effet ajouté de ce côté; mais, dans la réalité, il l'eſt du côté oppoſé.

## PROBLÊME IX.

*Faire tenir un bâton droit ſur le bout du doigt, ſans qu'il puiſſe tomber.*

ATTACHEZ deux couteaux, ou autres corps, à l'extrémité du bâton, de maniere que l'un penche d'un côté & l'autre de l'autre, en forme de contre-poids, comme on le voit dans la figure; mettez cette extrémité deſſus le bout du doigt: alors le bâton ſe tiendra ſans tomber; & ſi vous le faites pencher, il ſe redreſſera & ſe remettra dans ſa ſituation. Pl. 2, fig. 7.

Il faut, pour cet effet, que le centre de gravité des deux poids ajoutés & du bâton, ſe trouve au deſſous du point de ſuſpenſion ou de l'extrémité du bâton, & non à l'extrémité, comme le dit M. Ozanam; car alors il n'y auroit aucune ſtabilité.

C'eſt par le même principe que ſe tiennent droites ces petites figures garnies de deux contre-poids, qu'on fait tourner & ſe balancer ſur une eſpece de guéridon, portée ſur une petite boule

Pl. 2, fig. 8. ou ſur la pointe de leur pied. Telle eſt la petite figure DE, portée ſur le guéridon I, & garnie de deux balles de plomb attachées par des fils de fer courbés. Le centre de gravité du tout, qui ſe trouve fort au deſſous du point d'appui, ſoutient la figure droite, & la redreſſe lorſqu'on la fait pencher; car ce centre tend à ſe placer le plus bas poſſible, ce qu'il ne peut faire ſans redreſſer la figure.

C'eſt enfin par le même mécaniſme qu'on diſpoſe trois couteaux de maniere à tourner ſur la pointe d'une aiguille; car, ces trois couteaux étant diſpoſés comme on le voit dans la figure neuvieme, & les ayant mis en équilibre ſur la pointe d'une aiguille qu'on tient à la main, ils ne ſçauroient tomber, parce que leur centre de gravité commun eſt fort au deſſous de la pointe de l'aiguille qui eſt ſur le point d'appui.

Fig. 9.

## PROBLÊME X.

*Conſtruction d'une figure qui, ſans contre-poids, ſe releve toujours d'elle-même & ſe tient debout, quoi qu'on faſſe.*

TAILLEZ une petite figure humaine de quelque matiere extrêmement légere, par exemple, de moëlle de ſureau, qui ſe coupe avec facilité & fort proprement;

Fig. 10. Faites-lui enſuite une baſe de forme hémiſphérique & d'une matiere fort peſante, telle que du plomb. Une demi-balle de plomb, bien unie dans ſa partie convexe, ſera ce qu'il faut. Vous collerez la figure ſur la partie plane de cet hémiſphere.

Quoi que vous faſſiez alors, cette petite figure, auſſi-tôt qu'elle ſera laiſſée à elle-même, ſe relevera, parceque le centre de gravité de cette baſe

hémiſphérique étant dans l'axe, tend à s'approcher du plan horizontal autant qu'il ſe peut ; & cela ne peut arriver, ſans que cet axe devienne perpendiculaire à l'horizon ; car la petite figure qui eſt deſſus le dérange à peine de ſa place, à cauſe de la diſproportion de ſa peſanteur avec celle de la baſe.

C'eſt de cette maniere qu'étoient formées ces petites figures qu'on appelloit *des Pruſſiens*, & qu'on vendoit à Paris au commencement de la derniere guerre. On en formoit des bataillons, que l'on renverſoit en paſſant deſſus une baguette, & auſſitôt on les voyoit relevés.

On a imaginé, depuis peu, de faire des paravants de cette forme, qui ſe relevent toujours d'eux-mêmes.

## PROBLÊME XI.

*Sur les deux poulies A, B, paſſe une corde ACB, aux extrémités de laquelle ſont ſuſpendus les poids P & Q donnés ; au point C eſt fixé le poids R par le cordon RC noué en C. On demande quelle ſera la poſition que prendront les trois poids & la corde ACB.* Pl. 2, fig. 11.

SUR une perpendiculaire, *a b*, à l'horizon, prenez une ligne quelconque *a c*, & ſur cette ligne, comme baſe, faites le triangle *a d c* tel que *a c* ſoit à *c d* comme le poids R au poids P, & *a c* à *a d* comme R à Q ; tirez enſuite par A la parallele AC indéfinie à *c d*, & par B la parallele BC à *a d* : le point C d'interſection ſera le point cherché, & donnera la poſition ACB de la corde.

Car, ſi ſur RC prolongé on prend CD égale à *a c*, & qu'on décrive le parallélogramme EDFC,

il eſt viſible qu'on aura CF & CE égales à *c d*, *a d*; par conſéquent les trois lignes EC, CD, CF, ſeront entr'elles comme les poids P, R, Q: conſéquemment les deux forces tirant de C en F & de C en E, ou ſelon les lignes CA, CB, ſeront en équilibre avec la force tirant de C en R.

### *REMARQUES.*

1. SI le rapport des poids étoit tel que le point d'interſection C tombât ſur la ligne AB ou au deſſus, cela déſigneroit que le probleme eſt impoſſible. Le poids Q ou le poids P entraînera les deux autres, de maniere que le point C tombe en B ou A; enſorte que la corde ne fera aucun angle.

Ces poids pourroient encore être tels qu'il fût impoſſible de conſtruire le triangle *a c d*; comme ſi l'un des deux étoit égal ou plus grand que les deux autres à-la-fois: car, pour faire un triangle de trois lignes, il faut que chacune ſoit moindre que les deux autres enſemble. Alors on devroit en conclure que le poids, égal ou ſupérieur aux deux autres, les entraîneroit tous deux, ſans pouvoir s'arranger en équilibre.

2. Si, au lieu d'un nœud C, on ſuppoſoit le poids R pendre à une poulie capable de rouler ſur la corde ACB, la ſolution ſeroit la même; car il eſt viſible que les choſes étant dans l'état du premier cas, ſi, au lieu du nœud en C, on y ſubſtituoit une poulie, l'équilibre ne ſeroit pas troublée. Mais il y auroit une limitation de plus que dans le cas précédent. Il faudroit que le point d'interſection C, déterminé comme ci-deſſus, tombât au deſſous de l'horizontale menée par le point B; car, autrement, la poulie rouleroit juſqu'au point B, comme ſur un plan incliné.

PROBLÊME

## PROBLÊME XII.

*Calcul du temps qu'Archimede eût employé, en ſuppoſant l'exécution de la machine dont il parloit à Hiéron, pour mouvoir la terre.*

TOUT le monde, du moins parmi les mathématiciens, connoît le mot d'Archimede au roi Hiéron, *Donnez-moi un point fixe, & je tirerai la terre de ſa place.* Cela donne lieu à un calcul curieux; ſçavoir, combien de temps il eût fallu à Archimede pour faire mouvoir la terre d'un pouce ſeulement, en ſuppoſant ſa machine exécutée & mathématiquement parfaite, c'eſt-à-dire ſans frottement, ſans peſanteur, & dans un parfait équilibre.

Nous ſuppoſerons pour cet effet la matiere dont la terre eſt compoſée, peſer 300 livres le pied cube; ce qui eſt le poids moyen des pierres mélangées de matieres métalliques, telles que probablement ſont celles que la terre contient dans ſes entrailles. Cela étant ſuppoſé, & la circonférence d'un grand cercle de notre globe étant de 9000 lieues de 2283 toiſes chacune, on trouvera qu'il contiendra en ſolidité 12301596000 lieues cubiques, ou 1786778990240245 2000 toiſes cubes, ou 3859442618818929632000 pieds cubes; ce qui, à raiſon de 300 livres le pied cube, fait un poids de 1167832785645678889600000 livres.

On ſçait d'un autre côté, par les loix de la mécanique, que, quelle que ſoit la conſtruction d'une machine, le chemin que parcourt le poids eſt à celui de la puiſſance motrice, en raiſon réciproque de celle-ci au premier. On ſçait encore

que la force d'un homme appliqué à une manivelle, ne ſçauroit faire qu'un effort d'une trentaine de livres, continué pendant huit ou dix heures avec une viteſſe d'environ 1500 toiſes par heure. Ainſi, en ſuppoſant que la machine d'Archimede fût miſe en mouvement par une manivelle, que la force de celui qu'il auroit appliqué à ſa machine eût été de 30 livres continuellement appliquées à cette manivelle, avec une viteſſe de 1500 toiſes par heure, il eût fallu, pour ébranler la terre d'un pouce, que la puiſſance motrice eût parcouru l'eſpace de 3859442618818929632000 pouces; &, diviſant cet eſpace par 1500 toiſes ou 108000 pouces, on aura pour quotient 357-3557980387898o8, qui ſeroit le nombre des heures employées à ce mouvement. Or il y a dans un an 8766 heures, & dans un ſiecle 876600 : donc, diviſant le nombre ci-deſſus par ce dernier, on aura celui-ci, 407661188728, qui ſeroit le nombre des ſiecles pendant leſquels il eût fallu tourner uniformément la manivelle de la machine, pour faire faire à la terre le chemin d'un pouce. Nous avons négligé la fraction du ſiecle, comme une minutie inutile dans un pareil calcul.

## PROBLÊME XIII.

*Avec une très-petite quantité d'eau, comme de quelques livres, produire l'effet de pluſieurs milliers de livres.*

Pl. 3, fig. 12. IL faut dreſſer un tonneau ſur un de ſes fonds; après quoi vous percerez l'autre d'un trou propre à recevoir un tuyau d'un pouce de diametre, que vous y adapterez enſorte qu'il joigne bien, au

moyen de la poix ou de la filaſſe. Ce tuyau doit avoir 12 à 15 pieds de hauteur. Vous chargerez enſuite le fond ſupérieur du tonneau de pluſieurs poids, enſorte qu'il ſoit ſenſiblement bombé en bas ; rempliſſez enfin votre tonneau d'eau, &, quand il ſera plein, continuez d'en verſer par le tuyau : l'effort de ce petit cylindre d'eau ſera tel que, non-ſeulement les poids qui tenoient le fond ſupérieur bombé en bas ſeront ſoulevés, mais que, le plus ſouvent, ce fond ſera relevé & arqué en ſens contraire.

Il faut avoir ſoin que le fond d'en bas poſe ſur la terre, ſans quoi le premier effort de l'eau ſe portera de ce côté, & l'expérience paroîtra manquer.

On pourroit certainement, en donnant plus de hauteur au tuyau, faire crever le fond ſupérieur du tonneau.

La raiſon d'un pareil phénomene ſe déduit & eſt à-la-fois une démonſtration oculaire d'une propriété particuliere des fluides ; ſçavoir, que lorſqu'ils portent ſur une baſe, ils font ſur elle un effort proportionnel à la largeur de cette baſe multipliée par la hauteur. Ainſi, quoique dans cette expérience il n'y ait dans le tuyau qu'environ 150 ou 180 pouces cylindriques d'eau, l'effort eſt le même que ſi ce tuyau avoit toute la largeur du tonneau ſur les 12 à 15 pieds de hauteur.

### *Autre Maniere.*

Attachez fixément contre une muraille ou un autre appui ferme, un corps peſant 100 livres ou davantage ; ayez enſuite un vaſe de telle dimenſion qu'entre ce corps & ſes parois il n'y ait que la Pl. 3, fig. 13.

place d'une livre d'eau, & que ce vaſe ſoit ſuſpendu à un des bras d'une balance, dont l'autre baſſin ſoit chargé de 100 livres. Verſez dans le premier baſſin une livre d'eau, elle ſoulevera le baſſin chargé de 100 livres.

On n'aura pas de peine à concevoir la cauſe & la néceſſité de cet effet, ſi l'on a bien conçu l'explication du précédent, car elles ſont les mêmes. Il y a ſeulement ici cette différence, que l'eau, au lieu d'être raſſemblée dans un tuyau cylindrique, l'eſt dans l'intervalle étroit entre le corps L & le vaſe qui l'environne; mais cette eau n'en peſe pas moins ſur le fond du vaſe, que s'il étoit entiérement plein d'eau.

*Autrement.*

Ayez un pied cube de bois de chêne bien ſec, qui peſe environ 60 livres, & un vaſe cubique qui ne l'excede que d'une ligne ou deux dans chacune de ſes dimenſions. Ce pied cube de bois étant plongé dans le vaſe, verſez-y de l'eau; lorſqu'elle ſera parvenue à peu près aux deux tiers de la hauteur, le cube de bois ſe détachera du fond & ſurnagera. Ainſi, l'on voit ici un poids de 60 livres céder à une demi-livre d'eau & même moins.

*REMARQUE.*

ON voit par-là que le vulgaire eſt dans l'erreur, lorſqu'il penſe qu'un corps ſurnage plus facilement dans une grande quantité d'eau que dans une petite; il y ſurnagera toujours pourvu qu'il y en ait ſuffiſamment pour que le corps ne touche pas le fond. Si l'on a vu des vaiſſeaux périr à l'embouchure d'une riviere, ce n'eſt pas parce qu'il n'y avoit pas aſſez d'eau, mais parce que le vaiſſeau

étoit chargé au point d'être prêt à couler bas dans l'eau de mer. Or l'eau de mer étant plus peſante de près d'un trentieme que l'eau douce, lorſque le vaiſſeau a paſſé de l'une dans l'autre, il a dû s'enfoncer davantage & couler bas. C'eſt ainſi qu'un œuf qui s'enfonce dans l'eau douce, ſe ſoutient ſur de l'eau qui tient beaucoup de ſel en diſſolution.

## PROBLÊME XIV.

*Trouver la peſanteur d'un pied cube d'eau.*

LA connoiſſance du poids d'un pied cube d'eau eſt un des éléments les plus eſſentiels de l'hydroſtatique & de l'hydraulique ; c'eſt pourquoi nous allons enſeigner comment on le meſure avec préciſion.

On pourroit préparer un vaſe dont la capacité fût préciſément d'un pied cube, le peſer vuide, & enſuite le peſer plein d'eau. Mais, comme les liquides ſurmontent toujours les bords d'un vaſe aſſez conſidérablement, on n'auroit par-là qu'un réſultat aſſez peu exact. Il y auroit à la vérité moyen d'y remédier ; mais l'hydroſtatique va nous en fournir d'une grande préciſion.

Ayez un cube de matiere bien homogene, de métal, par exemple, de quatre pouces de côté bien exactement ; peſez-le à une bonne balance, pour connoître ſon poids, à quelques grains près ; attachez-le enſuite avec un crin, ou un fil de ſoie aſſez fort, au baſſin de la même balance, & meſurez de nouveau ſa peſanteur pendant qu'il eſt plongé dans l'eau : l'hydroſtatique apprend qu'il perdra préciſément autant de poids que peſe un pareil volume d'eau. Ainſi la différence de ces

deux poids ſera la peſanteur d'un cube d'eau de quatre pouces de côté, ou de la vingt-ſeptieme partie du pied cube : d'où il ſera aiſé de déduire la peſanteur du pied cube.

Pl. 3, fig. 14. Si vous ne vous piquez pas d'une auſſi grande préciſion, préparez un cube ou un parallélépipede rectangle, d'une matiere homogene & plus légere que l'eau, comme de bois; peſez-le auſſi exactement que vous le pourrez; plongez-le dans l'eau avec précaution, de maniere que l'eau ne le mouille pas au deſſus du point où il doit ſurnager. Je ſuppoſe que IKL eſt la ligne qui marque juſqu'où il s'eſt plongé dans l'eau. Meſurez le ſolide ABCDMI, en multipliant ſa baſe par la hauteur; ce ſera le volume d'eau déplacé par le corps, lequel volume doit peſer autant que le corps lui-même, ſuivant les principes de l'hydroſtatique. Que ce volume d'eau ſoit de 720 pouces cubes, & que le corps peſe 29 livres 3 onces, on ſçaura conſéquemment que 720 pouces cubes d'eau peſent 29 livres 3 onces: d'où l'on tirera aiſément ce que doit peſer le pied cube, qui contient 1728 pouces cubes. Car il n'y aura qu'à faire cette proportion; comme 720 pouces cubes ſont à 1728, ainſi 29 lignes 3 onces à un quatrieme terme, qui ſera 70 livres 4 onces.

## PROBLÊME XV.

*Connoître de deux liqueurs laquelle eſt la plus légere.*

Ce problême ſe réſoud ordinairement au moyen d'un inſtrument aſſez commun & aſſez connu, qu'on appelle *Aréometre* ou *Peſe-liqueur*. Ce n'eſt autre choſe qu'une petite boule ſurmontée d'un

tube de 4 à 5 pouces de longueur ; il y a dans la boule quelques grains de plomb ou un peu de mercure ; & le tout eſt tellement combiné que, dans une eau d'une peſanteur moyenne, la petite boule & partie du tuyau ſont plongées dans l'eau. Pl. 3, fig. 15.

On conçoit préſentement avec facilité que ſi cet inſtrument eſt plongé dans un fluide, par exemple de l'eau de riviere, qu'on remarque juſqu'où il s'y enfonce, & qu'on le plonge enſuite dans une autre eau, par exemple de l'eau de mer, il s'y enfoncera moins ; & ſi, au contraire, on le plonge dans une liqueur plus légere que la premiere, dans de l'huile, par exemple, il s'y plongera davantage. Ainſi, l'on connoîtra aiſément laquelle des deux liqueurs eſt la plus peſante ou la plus légere, ſans aucune balance. Ces inſtruments ont d'ordinaire dans leur tuyau une échelle numérotée, pour reconnoître juſqu'à quel point il eſt plongé.

Mais cet inſtrument eſt une machine groſſiere, en comparaiſon de celui que M. de Parcieux a donné en 1766 à l'académie royale des ſciences. Rien n'eſt cependant plus ſimple.

Cet inſtrument eſt formé d'une petite bouteille de verre, de deux pouces ou deux pouces & demi au plus de diametre, & de ſix à huit pouces de long. La partie inférieure ne doit pas être renfoncée en dedans, afin d'éviter qu'il ne s'y loge de l'air quand on la plongera dans l'eau. On la bouche avec un bouchon de liege fort ſerré, dans lequel on implante, ſans le traverſer, un fil de fer bien droit, de 25 ou 30 pouces de longueur, & d'environ une ligne de diametre. On charge enfin la bouteille en y introduiſant du petit plomb, en telle ſorte que l'inſtrument, plongé dans la liqueur la plus légere de celles que l'on veut comparer, s'en-

fonce au point de ne laiſſer qu'un bout du fil de fer au deſſus de ſa ſurface, & que, dans la plus peſante, ce fil de fer n'y ſoit plongé que de quelques pouces. C'eſt un point que l'on atteindra en augmentant ou diminuant, ſoit le poids qui charge la bouteille, ſoit le diametre du fil de fer, ſoit l'un & l'autre à-la-fois. On aura, par ce moyen, un inſtrument qui rendra extrêmement ſenſibles les moindres différences de peſanteur ſpécifique qui ſe trouveront dans des liqueurs différentes, ou que la même liqueur pourra éprouver dans différentes circonſtances, comme par l'effet de la chaleur, ou par le mélange de divers ſels, &c.

Il eſt au ſurplus aiſé de ſentir que, pour faire ces expériences, il faut avoir un vaſe d'une profondeur ſuffiſante, comme un cylindre de fer-blanc, de 3 ou 4 pouces de diametre & 3 à 4 pieds de longueur.

J'ai vu un pareil inſtrument qui avoit un mouvement ſi ſenſible, que, plongé dans de l'eau refroidie à la température ordinaire, il s'enfonçoit de quelques pouces lorſque le ſoleil donnoit deſſus l'eau, & remontoit auſſi-tôt qu'on avoit intercepté les rayons de cet aſtre. Une très-petite quantité de ſel ou de ſucre jetée dans l'eau, le faiſoit auſſi remonter de quelques pouces.

Par le moyen de cet inſtrument, M. de Parcieux a examiné les peſanteurs différentes des eaux, entr'autres celles qu'on boit à Paris, ou qui ont de la célébrité; & il a trouvé que la plus légere de toutes étoit l'eau diſtillée. Viennent enſuite, en diminuant ſucceſſivement de légéreté, l'eau de Seine, l'eau de la Loire, l'eau de l'Yvette, l'eau d'Arcueil, l'eau de Sainte-Reine, celle de Ville-d'Avray, celle de Briſtol, celle de puits.

On voit par-là l'erreur où eſt le vulgaire, d'imaginer que l'eau de Ville-d'Avray, celle de Sainte-Reine, celle de Briſtol, cette derniere ſur-tout, qu'on fait venir à ſi grands frais, ſoient meilleures que les eaux communes de riviere; car elles ſont au contraire les plus mauvaiſes, puiſqu'elles ſont les plus peſantes.

Tout comme les eaux différentes ont différentes peſanteurs, ainſi les vins varient en peſanteur & légéreté. Le plus léger de tous les vins connus, du moins dans ce pays-ci, eſt celui du Rhin. Viennent enſuite le vin de Bourgogne, celui de Champagne rouge, les vins de Bordeaux, de Languedoc, d'Eſpagne, des Canaries, de Chypre, &c.

J'ai vu, il y a quelques années, vendre à la Cour un *Oinometre*, ou inſtrument fait pour meſurer les différents degrés de peſanteur des vins. Il conſiſtoit en une boule creuſe d'argent, ſurmontée d'une petite lame de 3 à 4 pouces de longueur, & d'une ligne ou une ligne & demie de largeur, ſur laquelle étoient marquées des diviſions qui indiquoient, au moyen d'un petit imprimé, juſqu'où l'inſtrument devoit s'enfoncer dans différentes ſortes de vins. Il eſt aiſé de voir que ce n'étoit là que l'aréometre ordinaire, exécuté en argent.

La plus légere des liqueurs connues eſt l'éther, ou la liqueur éthérée de Frobénius. Enſuite, par ordre de peſanteur, l'eſprit-de-vin bien déflegmé, l'eau-de-vie, l'eau diſtillée, l'eau de pluie, les eaux de rivieres, les eaux de ſources, les eaux de puits, les eaux minérales. Nous ne parlons ici que des eaux: on verra dans la table qui ſuit, les rapports de peſanteur ſpécifique de différentes autres liqueurs avec l'eau de pluie, qui, étant la plus fa-

cile à ſe procurer, ſervira de module commun. Nous y donnons auſſi les peſanteurs ſpécifiques de différents corps ſolides, tant métaux & minéraux que végétaux & animaux; en quoi nous croyons faire une choſe agréable à nos lecteurs; car il arrive fréquemment qu'on a beſoin de cette connoiſſance.

Cette table des peſanteurs ſpécifiques ſe préſente ici ſous deux formes différentes. On y trouve la peſanteur de chaque corps, exprimée de deux manieres: dans la premiere colonne, elle l'eſt en parties dont 1000 expriment celle de l'eau de pluie; dans la ſeconde, elle l'eſt en livres & milliemes de livres, qu'il eſt facile de réduire en onces, &c. c'eſt le poids du pied cube de la matiere dont il s'agit. L'une de ces expreſſions ſe réduit facilement à l'autre, dès qu'on a le poids précis du pied cube d'eau de pluie, qui eſt de 69 liv. 9065 (*a*). Il ny a en effet, pour une matiere donnée, l'argent fin de coupelle, par exemple, qu'à multiplier ce poids (69.9065) par le nombre qui ſe trouve dans la colonne des rapports de peſanteurs ſpécifiques, à côté de la matiere propoſée: c'eſt ici 11.091. Multipliant donc 69.9065 par 11.091, le produit ſera 7753329915, dont on retranchera les quatre derniers chiffres: alors, du nombre reſtant, les trois derniers donneront des milliemes de livres, & les trois pre-

(*a*) C'eſt du moins ainſi que je l'ai déduit par un calcul laborieux; &, à ce ſujet, j'avouerai mon étonnement de n'avoir pas trouvé, même dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, cet élément fondamental de tout calcul des peſanteurs des autres ſubſtances, ſoit ſolides, ſoit liquides. L'*Encyclopédie* dit auſſi ſur l'eau tout ce qu'on peut dire, hors cela qu'il étoit important de dire.

miers le nombre même des livres. Ainſi l'argent, abſolument pur & ſans alliage, doit peſer 775 liv. & $\frac{1}{3}$ par pied cube. On trouve de la même maniere, que le pied cube d'or à 24 karats, peſe 1372 liv. $\frac{964}{1000}$. Au contraire, connoiſſant le poids du pied cube d'eau & celui du pied cube d'une autre ſubſtance, il n'y aura qu'à diviſer le dernier par le premier, & l'on aura le rapport de la peſanteur ſpécifique de cette ſubſtance à celle de l'eau, & conſéquemment, auſſi à toute autre dont la peſanteur ſpécifique eſt auſſi connue.

Nous allions livrer à l'impreſſion la table que nous venons d'annoncer, lorſque nous nous ſommes apperçus qu'elle étoit ſuſceptible d'une amélioration conſidérable, mais qui exigeoit une refonte preſque entiere de tous nos calculs. Nous avons, pour cette raiſon, préféré de la renvoyer à la fin de cette Partie de l'ouvrage, pour nous donner le temps d'y faire les changements convenables.

## PROBLÊME XVI.

*Connoître ſi une piece ou une maſſe d'or ou d'argent, qu'on ſoupçonne de mélange, eſt pure ou non.*

SI la maſſe ou la piece de la bonté de laquelle on doute, eſt, par exemple, d'argent, ayez une autre maſſe de bon argent, auſſi peſante, enſorte que les deux pieces étant miſes dans les baſſins d'une balance bien juſte, elles demeurent en équilibre dans l'air; attachez enſuite ces deux maſſes d'argent aux baſſins de la même balance avec du fil ou du crin de cheval, pour empêcher que les deux baſſins ne ſoient mouillés lorſqu'on plongera

dans l'eau les deux maſſes d'argent : elles demeureront en équilibre comme dans l'air, quand elles ſeront d'égale bonté. Mais ſi la maſſe propoſée peſe moins dans l'eau, elle ſera fauſſe, c'eſt-à-dire, il y aura quelqu'autre métal mêlé, d'une peſanteur ſpécifique moindre que celle de l'argent, par exemple, du cuivre; & ſi elle peſe davantage, elle ſera mêlée de quelqu'autre métal d'une peſanteur ſpécifique plus grande, comme celle du plomb.

*REMARQUES.*

I. Ce problême eſt évidemment le même que celui dont la ſolution cauſa tant de plaiſir à Archimede. Le roi Hiéron avoit donné à un orfevre une certaine quantité d'or pour en faire une couronne. Lorſqu'il la rendit, on eut quelque ſoupçon ſur ſa fidélité; & Archimede fut conſulté ſur les moyens de découvrir la fraude, s'il y en avoit. Il en vint à bout par le procédé ci-deſſus, qui lui démontra que l'or de la couronne n'étoit pas pur.

On pourroit, s'il s'agiſſoit d'une groſſe maſſe de métal, comme dans le cas d'Archimede, ſe borner à plonger dans un vaſe la maſſe d'or ou d'argent qu'on ſçait être pur, & enſuite celle ſur laquelle on a du ſoupçon. Car ſi cette derniere chaſſe davantage d'eau hors du vaſe, c'eſt une preuve que le métal eſt falſifié par un autre moins peſant & plus vil.

Mais, quoi qu'en diſe M. Ozanam, la différence de poids dans l'air & dans l'eau indiquera plus ſûrement le mélange, ſur-tout s'il eſt peu conſidérable; car il n'eſt perſonne qui ignore qu'il n'eſt pas ſi aiſé qu'il le paroît d'abord, de meſurer la quantité d'eau chaſſée d'un vaſe.

II. Dans la rigueur mathématique, il faudroit

commencer par peſer les deux maſſes dans le vuide; car, puiſque l'air eſt un fluide, il diminue la peſanteur réelle des corps, d'une quantité égale à ce que peſe pareil volume de lui-même. Puis donc que, par la ſuppoſition, les deux maſſes, l'une pure, l'autre falſifiée, ſont de volume inégal, elles doivent perdre inégalement de leurs poids dans l'air. Mais la grande ténuité de l'air, relativement à celle de l'eau, rend cette petite erreur inſenſible.

## PROBLÊME XVII.

*Même ſuppoſition faite que ci-deſſus, connoître la quantité du mélange fait dans la maſſe d'or.*

C'EST dans la ſolution de ce problême que réſide véritablement l'artifice ingénieux d'Archimede. Voici comme il s'y prit.

Soupçonnant que c'étoit de l'argent que l'orfevre avoit ſubſtitué à une quantité égale d'or, il peſa la couronne dans l'eau, & trouva qu'elle y perdoit un poids que nous appellerons A : il peſa enſuite dans le même fluide une maſſe d'or pur, qui dans l'air étoit en équilibre avec la couronne, & trouva qu'elle perdoit un poids que nous nommerons B : enfin il prit une maſſe d'argent équipondérante dans l'air avec la couronne, & la peſant dans l'eau, il trouva qu'elle perdoit le poids C. *Il fit* enſuite cette proportion ; comme la différence des poids B & C eſt à celle des poids A & B, ainſi le poids total de la couronne eſt à celui de l'argent mêlé. C'eſt ce qu'on découvre par un calcul algébrique aſſez court, mais par un raiſonnement un peu long, que nous expoſerons néanmoins, après avoir éclairci cette regle par un exemple.

Suppoſons que la couronne d'Hiéron peſât 20 marcs dans l'air, & que, péſée dans l'eau, elle perdît un marc & demi. Archimede dut trouver, en peſant dans l'air & dans l'eau une maſſe de 20 marcs d'or, une différence de 1 marc $\frac{1}{19}$; &, peſant d'une maniere ſemblable une maſſe de vingt marcs d'argent, il dut trouver une différence de 1 marc & $\frac{9}{11}$. Ainſi A eſt ici égal à $\frac{3}{2}$, B eſt égal à $\frac{20}{19}$, & C à $\frac{20}{11}$. La différence de A & B eſt $\frac{17}{38}$, celle de B & C eſt $\frac{160}{209}$. Faiſant donc cette proportion; comme $\frac{160}{209}$ ſont à $\frac{17}{38}$, ainſi 20 eſt à un quatrieme terme, on aura 11 marcs, 5 onces & demie.

Le raiſonnement qui conduiſit ou put conduire le géometre Syracuſain à cette ſolution, eſt celui-ci: Si toute la maſſe étoit d'or pur, elle perdroit, étant peſée dans l'air, $\frac{1}{19}$ de ſon poids; & ſi elle étoit d'argent pur, elle perdroit, étant peſée dans l'eau, $\frac{1}{11}$ de ſa peſanteur: donc, ſi elle perd moins que cette ſeconde quantité & plus que la premiere, elle ſera mélangée d'or & d'argent; & la quantité d'argent ſubſtitué à l'or ſera d'autant plus grande, que ce que la couronne perdra dans l'eau approchera davantage de $\frac{1}{11}$; & au contraire. Il faut donc diviſer cette maſſe de 20 marcs en deux parties qui ſoient proportionnelles à ces différences, ſçavoir, celle de la perte qu'éprouve la couronne avec celle qu'éprouve l'or pur, & celle de la perte que fait l'argent pur avec celle que fait la couronne; ce ſeront les rapports de la maſſe d'argent & de celle d'or, mélangées enſemble dans la couronne: d'où ſe déduit la regle précédente.

Au reſte, il n'étoit pas néceſſaire de prendre deux maſſes, l'une d'or, l'autre d'argent, équipondérantes avec la couronne. Auſſi, peut-être,

Archimede ne le fit-il pas, & ſe borna-t-il à s'aſſu-ſurer que l'or perd un 19e de ſon poids étant peſé dans l'eau, & l'argent un 11e.

## PROBLÊME XVIII.

*On propoſe deux coffres égaux, ſemblables & également peſants, l'un contenant de l'or, l'autre de l'argent. Eſt-il poſſible de diſcerner, par quelque voie mathématique, celui qui renferme l'or de celui qui contient l'argent?* Ou bien, *ſuppoſant deux boules, l'une d'or creuſe, l'autre d'argent ſolide & ſurdorée, pourroit-on diſcerner celle d'argent de celle d'or?*

Si, dans le premier cas, les maſſes d'or & d'argent ſont préciſément ſiſes au milieu de leur coffre reſpectif, enſorte que les centres de gravité coïncident, je dis, quoi qu'on liſe dans d'anciennes Récréations Mathématiques, qu'il n'y aura nul moyen de les diſcerner, ou du moins que celui qu'on y propoſe eſt défectueux.

Il en eſt de même du cas des deux globes ſemblables, égaux & également peſants.

Si pourtant on me preſſoit beaucoup de choiſir, je tâcherois de diſcerner l'un de l'autre par le moyen ſuivant. Je les ſuſpendrois tous les deux, par un fil le plus délié qu'il ſe pourroit, aux bras d'une balance très-exacte, d'une de ces balances qui, quoique chargées d'un poids aſſez conſidérable, trébuchent ſenſiblement à un grain de différence dans l'égalité des poids; je plongerois enſuite mes deux boules dans un grand vaſe plein d'une eau échauffée au degré de l'eau bouillante: celui qui trébucheroit ſeroit l'or. Car, ſelon les expériences faites ſur la dilatation des métaux,

l'argent, paſſant de la température moyenne à celle de l'eau bouillante, augmente probablement plus ſon volume que l'or : dans lequel cas, ces deux maſſes, qui étoient en équilibre dans l'air & dans l'eau tempérée, ne le ſeroient plus dans l'eau bouillante. Ou bien :

Je ferois un trou rond dans une plaque de cuivre, & tel que les deux boules y paſſaſſent toutes les deux très-juſtement & avec facilité ; j'échaufferois enſuite l'une & l'autre fortement, & même beaucoup plus haut qu'au degré de l'eau bouillante. En ſuppoſant, ce que je chercherois d'abord à conſtater, que l'argent ſe dilate le plus, je les préſenterois l'une & l'autre au trou dont il s'agit : celle qui y éprouveroit le plus de difficulté, je la réputerois d'argent.

## PROBLÊME XIX.

*Deux plans inclinés, AB, AD, étant donnés, & deux ſpheres inégales, P & p, les mettre en équilibre dans cet angle, comme l'on voit dans la figure*

Pl. 3, fig. 16. LES globes P & *p* ſeront en équilibre, ſi les forces avec leſquelles ils ſe repouſſent mutuellement dans la direction de la ligne C*c*, qui joint leur centre, ſont égales.

Or, la force avec laquelle le globe P tend à rouler le long du plan incliné BA, (qui eſt connue, l'inclinaiſon du plan étant donnée), eſt à la force avec laquelle il agit ſuivant C*c*, comme le ſinus total eſt au co-ſinus (*a*) de l'angle C*c* F; & de

(*a*) Nous donnerons dorénavant, pour abréger, & à l'exemple des géometres modernes, le nom de *co-ſinus* à ce que, dans les livres anciens de géométrie, on nommoit même

même la force avec laquelle le poids *p* roule le long de DA, eſt à celle ſelon laquelle il preſſe dans la direction *c*C, comme le ſinus total eſt au co-ſinus de l'angle C *cf:* d'où il ſuit que ces ſecondes forces devant être égales, il doit y avoir même raiſon du co-ſinus de l'angle *c* au co-ſinus de l'angle C, que de la force du globe P pour rouler le long de BA, à celle de *p* pour rouler le long de DA. Ainſi le rapport de ces co-ſinus eſt connu; & comme, dans le triangle CG*c*, l'angle G eſt connu, puiſqu'il eſt égal à l'angle DAB, il s'enſuit que le problême ſe réduit à diviſer un angle connu en deux parties telles que leurs co-ſinus ſoient en raiſon donnée; ce qui eſt un problême de pure géométrie.

Mais, pour nous borner au cas le plus ſimple, nous ſuppoſerons l'angle A droit. Il ne ſera donc plus queſtion que de diviſer le quart de cercle en deux arcs, dont les co-ſinus ſoient en raiſon donnée; ce qui eſt facile.

Soit donc la force de P, pour rouler le long de ſon plan incliné, égale à M; & celle de *p*, pour rouler le long du ſien, égale à *m:* tirez au plan AB une parallele à la diſtance du rayon du globe P, & au plan DA une autre à la diſtance du rayon de *p*, qui ſe couperont en G; faites enſuite GL à G*l*, comme *m* à M, & tirez L *l;* enſuite faites cette proportion: comme L *l* eſt à L G, ainſi la ſomme des rayons des deux globes eſt à GC; & du point C tirez une parallele C*c* à L*l:* les points C & *c* ſeront les lieux des centres des deux globes, &, dans cette ſituation, ils ſeront en équilibre à l'excluſion de toute autre.

---

*ſinus de complément.* Le lecteur à qui ce mot ne ſeroit pas familier, doit faire attention à cette note.

## PROBLÈME XX.

*Deux corps P & Q partent en même temps de deux points A & B, de deux lignes données de position, & se meuvent vers a & b avec des vitesses données. On demande leur position lorsqu'ils seront le plus près l'un de l'autre qu'il est possible.*

Pl. 3, fig. 17. SI leurs vitesses étoient dans le rapport des lignes BD, AD, il est clair que les deux corps se rencontreroient en D. Mais supposant ces vitesses différentes, il y aura un certain point où, sans se rencontrer, ils seront à la moindre distance où ils peuvent être, & ensuite ils s'éloigneront continuellement l'un de l'autre. Ici, par exemple, les lignes B D, A D, sont à peu près égales. Supposons donc la vitesse de P à celle de Q en raison de 2 à 1. On demande le point de la plus grande proximité.

Pour cet effet, soit tirée par un point quelconque R de AD, la ligne RS parallele à BD, & telle que AR soit à RS, comme la vitesse de P à celle de Q, c'est-à-dire, dans le cas présent, comme 2 à 1 ; tirez AST indéfinie, & du point B menez BC perpendiculaire sur AT ; enfin, par le point C menez CE parallele à BD, jusqu'à la rencontre de AD en E ; tirez enfin EF parallele à CB, qui rencontre B D en F : les points F & E sont les points cherchés.

## PROBLÈME XXI.

*Faire qu'un cylindre se soutienne de lui-même le long d'un plan incliné à l'horizon, sans rouler en bas, & même qu'il monte quelque peu le long de ce plan.*

SI un cylindre est homogène, & qu'on le place sur un plan incliné, son axe étant dans la situation

horizontale, il eſt évident qu'il roulera en bas, parceque ſon centre de gravité étant le même que celui de figure, la verticale tirée de ce centre paſſera toujours hors du point de contact, du côté le plus bas; conſéquemment le corps doit néceſſairement rouler de ce coté.

Mais ſi le cylindre eſt hétérogene, enſorte que ſon centre de gravité ne ſoit pas le même que celui de figure, il pourra ſe ſoutenir le long d'un plan incliné, pourvu que l'angle de ce plan avec l'horizon n'excede pas certaines limites.

Soit, par exemple, le cylindre dont la coupe perpendiculaire à l'axe eſt le cercle HFD. Pour faire ſortir ſon centre de gravité hors du centre de figure, on lui fera une rainure parallele à l'axe & en forme de demi-cercle, qu'on remplira d'une matiere beaucoup plus lourde; que ce corps ſoit F, enſorte que le centre de gravité du cylindre ſoit porté en E; que le plan incliné ſoit AB, & que BG ſoit à GA en moindre raiſon que CF à CE: le cylindre pourra ſe ſoutenir ſur le plan incliné ſans rouler en bas, & même, ſi on l'écarte de cette poſition dans un certain ſens, il la reprendra en roulant quelque peu vers le haut du plan. Pl. 4, fig. 18.

Car, ſuppoſons le cylindre placé ſur le plan, ſon axe horizontal, & ſon centre de gravité dans la parallele au plan incliné, paſſant par le centre, & enſorte que le centre de gravité ſoit du côté aſcendant du plan, *fig. 19*; qu'on mene par le point de contact D, les perpendiculaires au plan incliné & à l'horizon CDH, IDe: on aura BG à GA, ou BI à ID comme DI à IH, ou DC à Ce. Et puiſqu'il y a moindre raiſon de BG à GA que de CF ou CD à CE, il ſuit que Ce eſt moindre que CE; &, conſéquemment, la verticale abaiſſée Fig. 19.

du point E, paſſera hors du point de contact du côté de A : le corps tendra donc à tomber de ce côté, & il y roulera en remontant quelque peu, juſqu'à ce que le centre de gravité ait pris une poſition comme dans la *fig. 18*, où il tombe dans la verticale paſſant par le point de contact. Arrivé à cette ſituation, ce cylindre s'y tiendra, pourvu que ſa ſurface ne ſoit pas aſſez polie ou le plan, pour qu'il puiſſe gliſſer parallélement à lui-même. Il aura même une ſtabilité d'autant plus grande dans cette ſituation, que le rapport de BG à GA ſera moindre que celui de CF ou CD à CE, ou que l'angle ABG ou CDe ſera moindre que CDE.

C'eſt encore ici une vérité qu'il faut démontrer. Pour cela, il faut remarquer que le centre de gravité du cylindre, E, décrit, en roulant le long du plan incliné, une courbe telle qu'on voit dans la Pl. 4, *fig.* 20, qui eſt ce que les géometres appellent une fig. 20. *cycloïde allongée*, laquelle monte & deſcend alternativement au deſſous de la parallele au plan incliné, menée par le centre du cylindre. Or, le cylindre étant dans la poſition où le préſente la *fig.* 20, ſi l'on mene la ligne ED du centre de gravité au point de contact, on démontre d'ailleurs que la tangente au point E de cette courbe eſt perpendiculaire à DE : donc, ſi l'inclinaiſon du plan eſt moindre que l'angle CDE, cette tangente concourra avec l'horizontale du côté où monte le plan : le centre de gravité du cylindre ſera donc là comme ſur un plan incliné IK ; il doit, conſéquemment, deſcendre juſqu'au point L du creux de la courbe qu'il décrit, où cette courbe eſt touchée par l'horizontale.

Arrivé enfin à ce point, il ne ſçauroit s'en écarter, ſans monter d'un côté ou de l'autre : ſi donc

on l'en écarte un peu, il retournera à sa premiere position.

## PROBLÊME XXII.

*Construction d'une horloge qui montre les heures, en roulant le long d'un plan incliné.*

CETTE petite machine, qui est de l'invention de M. Wheeler, Anglois, est tout-à-fait ingénieuse: elle a pour principe la solution du problême précédent.

Qu'on se représente une boîte cylindrique de laiton, de quatre à cinq pouces de diametre, portant d'un côté un cadran divisé en 12 ou 24 heures. Dans l'intérieur, qui est représenté par la *fig.* 21, est une roue centrale, qui mene, au moyen d'un pignon, une seconde roue, laquelle en mene une troisieme, &c. jusqu'à un échappement garni de son balancier ou ressort spiral qui sert de modérateur, comme dans les montres ordinaires. A la roue centrale, est attaché fixément un poids P, qui doit être suffisant pour que, dans une inclinaison médiocre, comme de 20 à 30°, il puisse faire marcher cette roue & celles qui doivent en recevoir le mouvement. Mais, avant tout, comme la machine doit être parfaitement en équilibre autour de son axe central, il faut placer du côté diamétralement opposé au petit système de roues, 2, 3, 4, &c. un contre-poids tel que la machine soit absolument indifférente à toute position autour de cet axe. Ayant donc obtenu cette condition, on placera le poids moteur P, dont l'effet sera de faire tourner la roue centrale I, & par son moyen le mouvement d'horloge 2, 3, 4, &c: mais, en même temps que cela se fera, le cylindre roulera un peu en bas, ce qui ramenera le poids P dans

Pl. 4, fig. 21.

ſa poſition primitive, enſorte que l'effet de cette preſſion continuelle ſera de faire rouler le cylindre, tandis que le poids P ne changera de poſition que relativement au cylindre, mais non à l'égard de la verticale. On modérera enfin le poids P ou l'inclinaiſon du plan, de telle maniere que la machine faſſe une révolution entiere en vingt-quatre ou douze heures. On fixera l'aiguille à l'eſſieu commun de la roue centrale & du poids P, enſorte qu'elle regarde ſans ceſſe le zénith ou le nadir; ou, ſi l'on veut plus d'ornements, ce même eſſieu pourra porter un petit globe, ſurmonté d'une figure montrant les heures avec un doit élevé verticalement, &c.

On ſent aiſément que la machine parvenue au plus bas du plan incliné, il ſuffira de la remonter au plus haut pour qu'elle continue à marcher. Si elle retarde un peu, on accélérera ſon mouvement en élevant le plan incliné; & au contraire.

*REMARQUE.*

IL y a actuellement à Paris un horloger qui fait des pendules ſur ce principe: c'eſt le ſieur Le Gros, demeurant rue de Charonne. Il les livre à un prix fort honnête, ſçavoir, de ſeize louis les plus grandes & les plus belles, avec le ſupport en plan incliné; le tout très-proprement exécuté, & propre à faire décoration dans un cabinet.

## PROBLÊME XXIII.

*Conſtruction d'un habillement au moyen duquel on ne ſçauroit couler à fond, & qui laiſſe la liberté de tous les mouvements.*

COMME un homme ne peſe pas beaucoup plus qu'un pareil volume d'eau, on ſent aiſément qu'on

peut lui ajouter une maſſe de quelque matiere beaucoup plus légere que l'eau, au moyen de laquelle le compoſé de l'un & de l'autre ſoit plus léger que ce fluide; ce qui le fera ſurnager. C'eſt d'après ce principe que, pour s'apprendre à nager, quelques-uns s'attachent ſur le ventre & ſur le dos deux planches de liege; d'autres des calebaſſes vuides, au deſſous des bras: mais tous ces moyens ont des inconvénients & des incommodités auxquels on remédie de la maniere ſuivante.

Entre les deux doubles, c'eſt-à-dire le deſſus & la doublure, d'une camiſole ſans bras, diſpoſez de petits quarrés de liege d'un pouce & demi de largeur en quarré, & d'un demi pouce ou neuf lignes d'épaiſſeur. Il faut qu'il y en ait dans toute l'étendue de la camiſole, qu'ils ſoient aſſez près pour ne perdre que le moins d'eſpace poſſible, & qu'ils ne ſoient cependant pas aſſez ſerrés pour nuire à la flexibilité de la camiſole. Chacun de ces morceaux doit être comme enchâſſé entre le deſſus & la doublure, enſorte qu'il ne puiſſe changer de place; ce qui ſe fera en piquant la camiſole dans ſes intervalles. Elle doit s'attacher ſur le corps par de fortes boutonnieres ou de fortes attaches: il eſt enfin néceſſaire, pour empêcher que le corps ne gliſſe en bas, qu'il y ait derriere une eſpece de queue, qu'on fera repaſſer en deſſous & entre les jambes, pour s'attacher ſolidement au deſſus du ventre.

Au moyen d'une pareille camiſole, qui n'embarraſſe guere plus qu'un vêtement ordinaire, on peut, avec la plus grande ſécurité, ſe livrer à l'eau; car, ſi elle eſt faite convenablement, on n'en aura pas même au deſſus des épaules. On ſçauroit ſi peu enfoncer, qu'en ſuppoſant un homme mort dans

cette ſituation, il ſurnageroit infailliblement. On n'a conſéquemment aucun effort à faire pour ſe ſoutenir : auſſi peut-on écrire, lire, charger un piſtolet & le tirer. On a vu en 1767, à la Rapée, faire l'expérience de toutes ces choſes, par M. l'abbé de la Chapelle, de la Société Royale de Londres, l'inventeur de cette eſpece de camiſole.

Il eſt preſque ſuperflu d'obſerver en combien de cas cette invention ſeroit utile tant ſur terre que ſur mer. Un corps ennemi ſeroit, par exemple, bien tranquille, au-delà d'une riviere rapide & qu'on ne ſçauroit paſſer au gué : on donneroit de ſemblables camiſoles à un nombre ſuffiſant de ſoldats, qui pourroient facilement porter avec eux leurs ſabres & leurs piſtolets ; ils paſſeroient la riviere, & ſurprendroient ce corps ennemi, ſur lequel ils tomberoient le piſtolet & le ſabre à la main. S'ils étoient repouſſés, ils ſe rejeteroient à l'eau, & échapperoient ſans pouvoir être pourſuivis.

Il arrive tous les jours à la mer qu'il périt des hommes qui tombent à l'eau dans des manœuvres dangereuſes ; d'autres périſſent dans les rades & les ports, les chaloupes ou canots coulant bas par un coup de mer ou par quelqu'autre accident : chaque jour enfin un bâtiment périt à la côte ; & ſouvent ce n'eſt pas ſans beaucoup de peine qu'une partie de l'équipage parvient à ſe ſauver. Si chaque homme qui monte ſur ce perfide élément avoit ſa camiſole de liege, pour s'en revêtir du moins dans les moments de danger, qui ne voit qu'il en échapperoit un grand nombre à la mort ? ce qui ſeroit un grand avantage pour l'humanité.

## PROBLÊME XXIV.

*Conſtruire un bateau qui ne ſçauroit être ſubmergé, quand même l'eau y entreroit de tous les côtés.*

Il faut faire à un bateau un faux fond, qui ſoit éloigné du véritable d'une diſtance proportionnée à l'étendue du bateau, à la charge & au nombre de perſonnes qu'il doit porter. Je penſe, ſauf correction à faire d'après un calcul exact, que cette diſtance peut être d'un pied environ, pour un bateau de 18 pieds de longueur ſur 5 à 6 de large. On remplira le vuide de ce faux fond avec des morceaux de liege, le plus rapprochés qu'il ſera poſſible les uns des autres. Et comme ce faux fond diminue les bords du bateau, on pourra les élever proportionnellement, en leur laiſſant néanmoins de chaque côté de larges ouvertures, pour que l'eau qui pourroit être jetée dans le bateau puiſſe s'écouler. On pourra auſſi & même il ſera à propos d'élever l'arriere, enſorte qu'on puiſſe s'y réfugier, dans le cas où le bâtiment ſeroit à fleur d'eau.

Je crois que des chaloupes pontées de cette maniere, pourroient être utiles à la mer, pour ſe rendre, par exemple, à bord d'un vaiſſeau qui eſt dans une rade, quelquefois à pluſieurs lieues de terre, ou pour gagner la terre après avoir mouillé loin du rivage : car il n'arrive que trop ſouvent, dans des mers houleuſes où par l'effet d'un vent qui fraîchit, des accidents malheureux ; & il ſemble même que, dans une traverſée ordinaire, c'eſt dans ces circonſtances que réſide le plus grand riſque. Des canots conſtruits comme

l'on vient de le dire, préviendroient par leur insubmergibilité ces accidents fréquents.

Je conviens qu'il réſte à ajouter beaucoup à cette idée, préſentée ici dans toute ſa ſimplicité; car il pourroit y avoir des changements à faire dans la forme du petit bâtiment, peut-être des corps peſants à y ajouter dans certains endroits, pour augmenter ſa ſtabilité. C'eſt un ſujet de recherche qui ne ſçauroit être plus utile, puiſqu'il en réſulteroit la conſervation de pluſieurs milliers d'hommes par an.

On doit cette invention à M. de Bernieres, l'un des quatre contrôleurs généraux des ponts & chauſſées, qui conſtruiſit en 1769 une pareille chaloupe pour le Roi. Il en a depuis conſtruit une pour M. le duc de Chartres, beaucoup mieux combinée que la premiere; & une autre pour M. le marquis de Marigny. On fit eſſai de cette derniere, ſoit en la rempliſſant d'eau, ſoit en tâchant de la faire chavirer; mais elle ſe redreſſa dès qu'elle fut livrée à elle-même, &, quoique remplie d'eau, elle étoit encore en état de porter ſix perſonnes.

Il ne tiendra ſans doute dorénavant qu'aux hommes de diminuer le nombre des accidents fâcheux qui arrivent à ceux qui hantent la mer ou les rivieres. Mais le froid qu'en général on a témoigné ſur cette invention de M. de Bernieres, montre bien l'indifférence des hommes ſur leurs intérêts les plus réels, lorſqu'il n'eſt queſtion que des intérêts généraux de l'humanité, & qu'il faut, pour les lui procurer, quelques attentions & quelques dépenſes actuelles. Chacun regarde comme éloigné ou nul pour ſoi le danger qu'on ne peut ſe diſſimuler. C'eſt par ce principe que nos villes ſont malpropres & preſque infectes, faute d'être

plus aérées ; que nos hôpitaux ſont, pour la plupart, des lieux plus propres à y faire naître des maladies qu'à les y guérir ; qu'une foule d'inſtitutions utiles au genre humain ſont négligées ; qu'enfin l'on regarde preſque comme un fou celui qui s'occupe eſſentiellement de ces objets, ſi intéreſſants pour l'humanité & plus dignes encore des veilles des bons eſprits, que les ſpéculations les plus brillantes de la géométrie & de l'aſtronomie.

## PROBLÊME XXV.

*Comment on peut retirer du fond de la mer un vaiſſeau qui a coulé bas.*

On a exécuté pluſieurs fois cette entrepriſe difficile, au moyen d'une conſidération hydroſtatique fort ſimple, ſçavoir, que ſi un bateau chargé autant qu'il peut l'être, eſt enſuite déchargé, il tend à s'élever avec une force égale à celle du poids du volume d'eau qu'il déplaçoit étant chargé ; ce qui fournit le moyen d'employer des forces énormes à ſoulever le vaiſſeau coulé à fond.

Pour cet effet, on prendra le nombre de bateaux convenable, ce qu'on eſtimera d'après la grandeur du vaiſſeau, & en conſidérant que ce vaiſſeau ne peſe dans l'eau que l'excès de ſon poids ſur celui d'un pareil volume d'eau : on les rangera en deux files aux deux côtés du vaiſſeau ſubmergé ; on enverra enſuite des plongeurs amarrer des bouts de cables à différents endroits de ce vaiſſeau, enſorte qu'il y en ait quatre de chaque côté pour chaque bateau. Les bouts de ces cables reſtants hors de l'eau, ſeront amarrés bas-bord & ſtribord du bateau qui leur ſera deſtiné. Ainſi, ſi l'on a quatre

bateaux de chaque côté, ce ſeront trente-deux cables, dont quatre pour chaque bateau.

Cela fait, on chargera tous ces bateaux le plus qu'on pourra, ſans les ſubmerger, & on bandera tous les cables autant qu'il ſera poſſible; après quoi on les déchargera de deux en deux. S'ils ſoulevent le vaiſſeau, ce ſera un ſigne qu'ils ſont en nombre convenable. Mais, en ſoulevant le vaiſſeau, les cables amarrés aux bateaux reſtés chargés deviendront lâches: c'eſt pourquoi on les bandera de nouveau autant que l'on pourra; enſuite on déchargera ces bateaux, en faiſant paſſer leur charge dans les premiers: le vaiſſeau ſera encore un peu ſoulevé, & les cables des bateaux chargés ſeront lâchés: on les bandera donc encore, & on tranſvaſera la charge de ces derniers dans les autres; ce qui ſoulevera encore un peu le vaiſſeau ſubmergé. En répétant enfin cette manœuvre auſſi long-temps qu'il ſera beſoin, on amenera le vaiſſeau à fleur d'eau, & on le conduira au port, ou juſques ſur la grêve.

On peut voir dans les Mémoires des Académiciens étrangers, Tome II, le détail des manœuvres employées pour relever de cette maniere le *Tojo*, vaiſſeau eſpagnol de la flotte des Indes, coulé à fond dans la rade de Vigo, à l'affaire du 10 Octobre 1702. Mais comme ce vaiſſeau avoit reſté plus de trente-ſix ans dans cet état, il ſe trouva comme encaſtré dans un banc de glaiſe tenace, qui exigea des peines incroyables pour l'en détacher; & quand il fut hors de l'eau, on n'y trouva aucune des richeſſes qu'on attendoit. Il avoit été un de ceux qui furent déchargés avant d'être coulés bas par les Eſpagnols mêmes, pour ne pas les laiſſer au pouvoir des Anglois.

## PROBLÊME XXVI.

*Faire qu'un corps monte comme de lui-même le long d'un plan incliné, en vertu de ſa propre peſanteur.*

AYEZ un double cône, c'eſt-à-dire fait de deux cônes droits réunis par leur baſe, enſorte qu'ils aient un axe commun. Pl. 5, fig. 22.

Faites enſuite un ſupport compoſé de deux branches AC, BC, réunies en angle au point C, que vous placerez enſorte que le ſommet C ſoit au deſſous de l'horizontale, & que les deux jambes ſoient également inclinées à l'horizon. Il faut que la ligne AB ſoit égale à la diſtance des ſommets du double cône, & la hauteur AD un peu moindre que le rayon de la baſe. Cela étant ſuppoſé, ſi vous placez entre les jambes de cet angle ce double cône, vous le verrez rouler vers le haut, enſorte que ce corps ſemblera, au lieu de deſcendre, monter contre l'inclination de la peſanteur. Fig. 23.

Nous diſons qu'il ſemblera monter, car, dans la réalité, il ne montera pas ; au contraire il deſcendra. En effet, ſon centre de gravité deſcend, comme on va le voir.

Soit *ac* (*fig.* 24) le plan incliné dans lequel ſe trouve l'angle ACB, *c e* la ligne horizontale paſſant par le ſommet *c* ; *e a* ſera, par conſéquent, l'élévation du plan au deſſus de l'horizontale, laquelle eſt moindre que le rayon du cercle, baſe du double cône. Il eſt évident que, lorſque ce double cône ſera au ſommet de l'angle, il ſera comme on le voit en *c d*; & lorſqu'il ſera parvenu au plus haut du plan, il ſera poſé comme on voit en *af* : ſon centre aura donc paſſé de *d* en *a* ; & puiſque *d c* eſt Fig. 24.

égale à *af*, & que *ce* eſt l'horizontale, *cf* ſera une ligne inclinée à l'horizon, & par conſéquent auſſi ſa parallele *da*: le centre de gravité du cône aura donc deſcendu, tandis que le cône aura paru monter. Or c'eſt, comme on l'a vu plus haut, la chûte ou la montée du centre de gravité qui détermine la véritable deſcente ou aſcenſion d'un corps. Tant que le centre de gravité peut deſcendre, le corps ſe meut dans ce ſens, &c.

On trouve que, dans le problême préſent, le chemin du centre de gravité, dans toute ſa deſcente, eſt une ligne droite. Mais on pourroit ſituer d'une maniere ſemblable une parabole, une hyperbole, le ſommet en bas, & alors le chemin du centre de gravité du double cône ſeroit une courbe; ce qui préſente aux jeunes géometres matiere à s'exercer.

## PROBLÊME XXVII.

*Conſtruire une horloge avec de l'eau.*

Pl. 5, fig. 25. SI l'eau qui s'écoule d'un vaſe cylindrique par un trou pratiqué à ſon fond, s'écouloit uniformément, rien ne ſeroit plus facile que de faire une horloge qui marquât les heures avec de l'eau; mais l'on ſçait que plus l'eau eſt haute au deſſus du trou par lequel elle s'écoule, plus elle coule rapidement, enſorte que les diviſions verticales ne doivent pas être égales. Quel doit être leur rapport? C'eſt en quoi conſiſte la ſolution du problême.

On démontre dans l'hydraulique, que la viteſſe avec laquelle l'eau s'écoule d'un vaſe par une ouverture très-petite, eſt comme la racine quarrée de la hauteur de l'eau au deſſus de cette ouverture; d'où l'on a tiré la regle ſuivante pour les di-

visions de la hauteur du vase, que nous supposons cylindrique.

En supposant que toute l'eau s'écoule en douze heures, divisez toute la hauteur en 144 parties égales; il s'en vuidera 23 dans la premiere heure, ensorte qu'il en restera 121 pour les onze restantes: de ces 121 il s'en vuidera 21 pendant la deuxieme heure; & ainsi de suite, dans la troisieme 19, dans la quatrieme 17, &c. Ainsi la 144$^{e}$ division répondant à douze heures, la 121$^{e}$ répondra à onze, la 100$^{e}$ à dix, la 81$^{e}$ à 9, &c. jusqu'à la derniere heure, qui n'épuisera qu'une division. Enfin ces mêmes divisions comprendront par ordre rétrograde, en commençant du bas, la premiere une partie, la deuxieme 3, la troisieme 5, la quatrieme 7, &c; ce qui est précisément le rapport des espaces parcourus par un corps tombant librement, en vertu de sa pesanteur, dans des temps égaux.

Mais si l'on vouloit que *les divisions, dans le sens de la verticale, fussent égales en temps égaux, quelle figure faudroit-il donner au vase?*

Nous répondrons que le vase en question devroit être un paraboloïde formé par la circonvolution d'une parabole du quatrieme degré, où les quarré-quarrés des ordonnées seroient comme les abcisses. Ce paraboloïde étant renversé le sommet en bas, & percé à ce sommet d'un trou convenable, l'eau s'écoulera de sorte qu'en des temps égaux elle baissera également dans la verticale.

Mais comment décrire cette parabole? Le voici. Soit une parabole ordinaire ABS, dont l'axe est PS, & le sommet S. Tirez, comme vous le voudrez, une parallele à cet axe R*r*T; abaissez ensuite une ordonnée quelconque de la parabole AP, qui coupe RT en R; faites PQ moyenne Pl. 5, fig. 26.

proportionnelle entre PR, PA ; que *pq* le ſoit de même entre *pr*, *pa*, &c : la courbe paſſant par les points Q, *q*, &c. ſera la courbe cherchée, dont on fera un calibre qui ſervira à donner au vaſe la concavité cherchée. A quelque hauteur qu'on le rempliſſe de fluide, il ſe vuidera toujours en temps égaux, d'une hauteur égale.

Nous donnerons au reſte, dans une autre partie de cet ouvrage, le moyen de faire écouler d'un vaſe d'une forme quelconque, la même quantité d'eau dans des temps égaux. Mais cela tient à la propriété du ſyphon, qui doit trouver ſa place ailleurs.

## PROBLÊME XXVIII.

*Un point étant donné, & une ligne qui n'eſt pas horizontale, trouver la poſition du plan incliné, par lequel un corps partant du point donné, & roulant le long de ce plan, parviendra à cette ligne dans le moindre temps.*

Pl. 5, fig. 27. CE petit problême de mécanique eſt aſſez curieux, d'autant qu'il admet une ſolution très-élégante. Soit donc A le point donné, & la ligne donnée BC. Menez du point A la verticale AD, & la perpendiculaire AE à la ligne donnée ; puis du point D, où la verticale rencontre cette même ligne, menez DG parallele à AE, & égale à AD ; enfin tirez AG, qui coupe BC en F : la ligne AF ſera la poſition du plan par lequel un corps partant du point A, & roulant de lui-même, & par un effet de ſa peſanteur, le long de ce plan, arrivera en moins de temps à la ligne BC, que par tout autre plan incliné différemment.

Pour le démontrer, tirez FH parallele à AE ou DG,

DG, jusqu'à sa rencontre H avec la verticale AD. On aura donc, à cause des triangles semblables, AD à DG comme AH à HF; &, conséquemment, DG étant égale à AD, AH le sera à HF, qui est d'ailleurs perpendiculaire à BE, puisqu'elle est parallele à AE: donc le cercle décrit du point H, comme centre, par le point A, passera par F, & touchera la ligne BC.

Or l'on a démontré que, dans un cercle, si l'on mene un diametre vertical, comme AHI, & des cordes quelconques AF, AK, ces cordes ainsi que ce diametre seront parcourus dans le même temps par un corps livré à sa pesanteur, qui tomberoit le long d'elles. Puis donc que le temps employé à tomber le long de AK ou de AI, est égal à celui qui est employé à tomber le long de AF, celui qu'il faudra pour tomber le long de AD ou AE, sera plus long que celui qui sera employé à tomber le long de AF; & le même raisonnement ayant lieu à l'égard de toutes les autres lignes qu'on pourroit tirer de A à la ligne BC, il s'ensuit que AF est la ligne le long de laquelle le corps arrivera dans le moindre temps à cette ligne BC.

Si la ligne BC étoit verticale, alors AE seroit horizontale ainsi que DG; enfin AD & DG seroient toutes deux infinies & égales, ce qui donneroit l'angle FAD de 45°: d'où il suit que, dans ce cas, ce seroit par le plan incliné de 45° que le corps, livré à lui-même, arriveroit à la verticale dans le moindre temps possible.

## PROBLÊME XXIX.

*Les points A & B étant donnés dans la même horizontale, on demande la position des deux plans*

*AC, CB, tels qu'un corps roulant d'un mouvement accéléré de A en C, puis remontant avec ſa viteſſe acquiſe le long de CB, cela ſe faſſe dans le moindre temps poſſible.*

Pl. 5, fig. 28. IL eſt évident qu'un corps placé en A ſur la ligne horizontale AB, y reſteroit éternellement ſans ſe mouvoir du côté de B. Il faut donc, pour qu'il aille par un effet de ſon poids de A en B, qu'il y ait une chute le long d'un plan incliné ou d'une courbe, enſorte qu'après avoir plus ou moins deſcendu, il remonte le long d'un ſecond plan ou du reſtant de la courbe juſqu'en B. Mais nous ſuppoſerons ici que cela s'exécute au moyen de deux plans. On doit encore ſentir que le temps employé à deſcendre & à remonter doit être plus ou moins long, ſuivant l'inclinaiſon & la longueur de ces plans. Il s'agit de déterminer quelle eſt leur poſition la plus avantageuſe pour que ce temps ſoit le moindre.

Or on trouve que la poſition cherchée eſt telle que les deux plans doivent être égaux & inclinés à l'horizon de 45°, c'eſt-à-dire que le triangle ACB doit être iſoſcele & rectangle en C.

Cette ſolution ſe déduit de celle du problême précédent; car ſi l'on conçoit menée par le point C une verticale, on a fait voir que le plan AC, incliné de 45° degrés, étoit le plus favorablement diſpoſé pour que le corps, roulant le long de ce plan, arrivât à la verticale dans le moindre temps; mais le temps de la montée par CB, eſt égal à celui de la deſcente: d'où il ſuit que leur ſomme, ou le double du premier, eſt auſſi le plus court poſſible.

## PROBLÊME XXX.

*Lorſqu'on a un puits extrêmement profond, avec une chaîne garnie de deux ſeaux, faire enſorte que, dans toutes les poſitions des ſeaux, le poids de la chaîne ſoit nul, de maniere qu'on n'ait jamais à élever que le poids dont le ſeau montant eſt rempli.*

LORSQU'ON a deux ſeaux ſuſpendus aux deux bouts d'une corde ou d'une chaîne, qui montent & deſcendent alternativement, pendant que la corde s'enroule autour de l'eſſieu du tour qui ſert à les enlever, il eſt évident que quand un ſeau eſt au plus bas, & qu'on commence à l'élever, on a non-ſeulement le poids du ſeau à enlever, mais encore celui de toute la chaîne depuis l'ouverture juſqu'au fond du puits : & il eſt des cas, comme dans des mines de trois à quatre cents pieds de profondeur, où l'on aura à ſoulever pluſieurs quintaux pour n'élever qu'un poids de cent ou de deux cents livres, à la bouche du puits. Telles étoient celles de Pontpéan, avant que M. Loriot eût ſuggéré le remede à cet inconvénient. Pl. 6, fig. 29.

Ce remede eſt fort ſimple, & ſi ſimple, qu'il eſt étonnant qu'on ne l'ait pas imaginé plutôt. Il n'y a en effet qu'à faire faire à la corde ou à la chaîne un anneau entier, dont un des bouts deſcende juſqu'à la profondeur où l'on doit puiſer l'eau ou charger les matieres, & attacher les ſeaux à deux points de cette corde, tels que lorſqu'un des ſeaux ſera au plus haut, l'autre ſoit au plus bas; car il eſt viſible qu'y ayant toujours autant de chaîne en deſcente qu'en montée, ces deux parties ſe contrebalanceront; & il n'y aura, dans la réalité, que

le poids aſcendant à élever, le puits eût-il pluſieurs centaines de toiſes de profondeur.

Il en ſeroit évidemment de même, s'il n'y avoit qu'un ſeau ; on n'auroit, dans toutes les poſitions, que le poids du ſeau & des matieres miſes dedans à élever : mais, dans ce cas, ce ſeroit perdre la moitié de l'avantage de cette machine, que de ne pas mettre deux ſeaux, puiſqu'il y auroit de temps perdu tout celui que le ſeau qu'on viendroit de décharger emploieroit à deſcendre.

*REMARQUE.*

M. le Camus a donné dans les Mémoires de l'Académie, année 1731, une autre maniere de remédier à l'inconvénient ci-deſſus. Il conſiſte, lorſqu'il n'y a qu'un ſeau, à faire enrouler la corde ſur un axe à peu près de forme conique tronquée, enſorte que lorſque le ſeau eſt au plus bas, la corde s'enroule ſur la partie du moindre diametre, & ſur celle du plus grand diametre lorſque ce ſeau eſt au plus haut. Par ce moyen, on emploie toujours la même force. Mais il eſt évident que, dans tous les cas, on eſt obligé d'en employer plus qu'il ne ſeroit néceſſaire.

Lorſqu'il y a deux ſeaux, M. le Camus fait enrouler une moitié de la corde ſur une moitié de l'axe, qu'il diviſe en deux parties égales, enſorte que l'une eſt toute couverte de la corde dont le ſeau eſt en haut, pendant que l'autre moitié eſt découverte, le ſeau qui lui répond étant au plus bas. Par ce moyen, les deux efforts ſe combinent de maniere qu'il faut toujours à peu près la même force pour le ſurmonter. Mais ces inventions, quoiqu'ingénieuſes, ne valent pas celle de M. Loriot.

## PROBLÊME XXXI.

*Conſtruction d'un tournebroche qui marche au moyen même du feu de la cheminée.*

CETTE eſpece de tournebroche eſt aſſez commune en Languedoc, & eſt aſſez ingénieuſe. Au milieu du foyer, & environ à un pied du contre-cœur de la cheminée, eſt fixée ſolidement une barre de fer qui ſert de ſupport à un eſſieu perpendiculaire, dont la pointe tourne dans une cavité en forme de crapaudine : l'autre extrémité porte dans un anneau délié qui lui ſert de collet ; cet axe eſt garni tout à l'entour d'une hélice en tole ou en ferblanc, qui fait une couple de révolutions, & qui a environ un pied de ſaillie ; il ſuffit même de pluſieurs plaques de tôle, taillées en ſecteur de cercle & implantées à cet axe, enſorte que leur plan faſſe avec lui un angle d'environ 60° : on les mettra en pluſieurs étages les unes ſur les autres, enſorte que les ſupérieures ſoient au deſſus du vuide laiſſé par les inférieures. Cet axe enfin porte vers ſon ſommet une roue de champ horizontale, qui engrene avec un pignon dont l'eſſieu eſt horizontal, & porte à ſon extrémité la poulie à l'entour de laquelle s'enroule la chaîne ſans fin qui ſert à faire tourner la broche. Telle eſt la conſtruction de la machine, dont voici le jeu. Lorſqu'on allume le feu à la cheminée, l'air qui, par ſa raréfaction, tend auſſi-tôt à monter, rencontre cette ſurface hélicoïde, ou ces eſpeces d'aubes inclinées ; il fait tourner par conſéquent l'axe auquel elle eſt attachée, & enfin la broche où eſt enfilée la piece de viande à rôtir. Plus le feu s'anime, plus la machine va vîte, parceque l'air monte avec plus de rapidité.

Pl. 6, fig. 30.

On peut, ſi l'on veut, démonter la machine, lorſqu'on ne veut pas s'en ſervir, en ſoulevant un peu l'axe vertical, & retirant ſa pointe de deſſus ſon appui, ce qui permet de dégager le ſommet de ſon eſſieu du collet qui l'embraſſe. On la peut remonter avec la même facilité, quand on en a beſoin.

*REMARQUES.*

1. Voici un petit jeu mécanique, fondé ſur le même principe. Coupez dans une carte un cercle de la largeur de la carte; puis tracez & coupez dans ce cercle une ſpirale qui faſſe trois ou quatre révolutions, & qui aboutiſſe à un petit cercle réſervé autour du centre, & d'une ligne ou deux de diametre; étendez cette ſpirale en élevant le centre au deſſus de la premiere révolution, comme ſi elle étoit coupée dans une ſurface conique ou paraboloïde; ayez enſuite une petite broche de fer terminée en pointe & portée ſur un ſupport; vous appliquerez le centre ou le ſommet de votre hélice ſur cette pointe; mettez enfin le tout ſur la table d'un poële un peu chaud: vous verrez votre machine ſe mettre peu à peu en mouvement & tourner avec rapidité, ſans aucun agent apparent. Cet agent eſt néanmoins l'air qui eſt raréfié par le contact d'un corps chaud, & qui en montant forme un courant.

2. Il n'y a nul doute qu'on ne pût appliquer une pareille invention à des ouvrages utiles: on pourroit, par exemple, s'en ſervir à former des roues qui ſeroient toujours plongées ſous l'eau, leur axe étant placé parallélement au courant: on pourroit même, pour donner à l'eau plus d'activité, renfermer cette roue hélicoïde dans un cy-

lindre creux, où l'eau une fois entrée, & pouſſée par le courant ſupérieur, agiroit, je crois, avec beaucoup de force.

Si l'on redreſſoit ce cylindre, enſorte qu'il reçût par ſon ouverture ſupérieure une chute d'eau, cette eau feroit tourner la roue & l'axe auquel elle ſeroit attachée, & pourroit mener une roue de moulin ou quelqu'autre machine. Tel eſt le principe du mouvement des roues du Baſacle, fameux moulin de Toulouſe.

## PROBLÊME XXXII.

*Qu'eſt-ce qui ſoutient debout une toupie ou un toton qui tourne?*

*Réponse.* C'est la force centrifuge des parties du toton ou de la toupie miſe en mouvement; car un corps ne peut ſe mouvoir circulairement, ſans faire un effort pour s'écarter du centre, enſorte que s'il tient à un filet attaché à ce centre, il le tendra, & le tendra d'autant plus, que le mouvement circulaire ſera plus rapide.

La toupie étant donc en mouvement, toutes ſes parties tendent à s'écarter de l'axe avec d'autant plus de force qu'elle tourne plus rapidement; d'où il ſuit que ce ſont comme autant de puiſſances qui tirent perpendiculairement à ſon axe. Or, comme elles ſont toutes égales, & que d'ailleurs, par la rotation, elles paſſent rapidement de tous les côtés, il en doit réſulter un équilibre de la toupie ſur ſon point d'appui, ou l'extrémité de l'axe ſur lequel elle tourne.

## PROBLÊME XXXIII.

*D'où vient ſoutient-on plus aiſément en équilibre ſur le bout de ſon doigt un bâton chargé à ſon*

*extrémité ſupérieure d'un poids, que lorſque ce poids eſt en bas, par exemple, une épée ſur ſa pointe plutôt que ſur ſa garde ?*

LA raiſon de ce phénomene bien connu de tous les faiſeurs de tours d'équilibre, eſt celle-ci. Lorſque le poids eſt fort éloigné du point d'appui, ſon centre de gravité décrit, en s'écartant d'un côté ou de l'autre de la perpendiculaire, un plus grand cercle que lorſque ce poids eſt fort voiſin du centre de rotation ou du point d'appui. Or, dans un grand cercle, un arc d'une grandeur déterminée, d'un pouce, par exemple, forme une courbe qui s'écarte bien moins de l'horizontale, que ſi le cercle étoit d'un rayon moindre. Le centre de gravité du poids pourra donc, dans le premier cas, s'écarter de la perpendiculaire de la quantité d'un pouce, par exemple, ſans avoir autant de propenſion ou autant de force pour s'en éloigner encore davantage, que dans le ſecond cas; car ſa tendance à s'éloigner tout-à-fait de la perpendiculaire eſt d'autant plus grande, que la tangente au point de l'arc où il ſe trouve approche davantage de la verticale: donc, plus le cercle que décriroit ſon centre de gravité eſt grand, moins grande eſt cette tendance à tomber, & conſéquemment, plus grande eſt la facilité à le tenir en équilibre.

## PROBLÊME XXXIV.

*Quelle eſt la poſition la plus avantageuſe des pieds pour ſe ſoutenir ſolidement debout ?*

C'EST un uſage parmi les perſonnes bien élevées, de porter les pieds en dehors, c'eſt-à-dire

enſorte que la ligne du milieu de la plante des pieds ſoit plus ou moins oblique à la direction vers laquelle on eſt tourné : cela m'a donné lieu de rechercher s'il y a quelque raiſon phyſique ou mécanique qui vienne à l'appui de cet uſage, auquel on attache une idée de grace. Voyons donc, examinons ceci, ſuivant les principes de la mécanique.

Un corps quelconque eſt d'autant plus ſolidement porté ſur ſa baſe, que, par la poſition du centre de gravité & la grandeur de cette baſe, ce centre eſt moins expoſé à en ſortir par l'effet des chocs extérieurs Cette conſidération fort ſimple réduit donc le problême à déterminer ſi, ſelon la poſition des pieds, la baſe dans l'intérieur de laquelle doit tomber la perpendiculaire à l'horizon, abaiſſée du centre de gravité du corps humain, eſt ſuſceptible d'augmentation & de diminution, & quelle eſt la poſition des pieds où cette baſe a la plus grande étendue. Or ceci devient un problême de pure géométrie, dont l'énoncé ſeroit celui-ci : *Deux lignes AD, BC, égales & mobiles ſur les points A & B comme centres, étant données, déterminer leur poſition lorſque le quadrilatere ou trapeze ABCD ſera le plus grand poſſible.* Ce problême ſe réſoud avec la plus grande facilité, par les méthodes connues des géometres pour les problêmes de ce genre, & l'on déduit de cette ſolution la conſtruction ſuivante. Pl. 6, fig. 31.

Sur la ligne A *d*, égale à AD ou BC, faites le triangle iſoſcele A H *d* rectangle en H, & faites AK égale à AH ; enſuite, ayant pris AI égale à $\frac{1}{2}$ AG ou un quart de AB, tirez la ligne KI ; & prenez IE égale à IK ; puis ſur GE élevez une perpendiculaire indéfinie, qui coupe en D le cercle dé- Fig. 32.

crit de A, comme centre, avec le rayon *Ad*: l'angle DAE ſera l'angle cherché.

Si la ligne AB, & conſéquemment AG ou AI, eſt nulle, on trouvera que AE ſera égale à AH, & que l'angle DAE ſera demi-droit. Ainſi, lorſqu'on a les talons abſolument appliqués l'un contre l'autre, l'angle que doivent faire enſemble les lignes longitudinales de la plante des pieds, eſt demi-droit, ou bien approchant de demi-droit, à cauſe de la petite diſtance qu'il y a alors entre les deux points de rotation qui ſont au milieu des talons.

Suppoſons maintenant que la diſtance AB eſt égale à AD, on trouveroit, par le calcul, que l'angle DAE devroit être de 60 degrés.

En ſuppoſant AB égale à deux fois AD, ce calcul donnera l'angle DAE de 70 degrés bien près.

En faiſant AB égale à trois fois la ligne AD, l'angle DAE ſe trouvera devoir être bien près de 74° 30′.

On voit donc par-là, qu'à meſure que les pieds ſeront plus écartés l'un de l'autre, leur direction devra, pour la plus grande ſolidité du corps, approcher davantage du paralléliſme. Mais, en général, les principes mécaniques ſont d'accord avec ce que l'uſage & ce qu'on appelle *la bonne-grace* enſeignent, ſçavoir, de porter les pieds en dehors.

## PROBLÊME XXXV.

### *Du Jeu de Billard.*

Il eſt inutile d'expliquer ici ce que c'eſt que le jeu de billard. On ſçait aſſez que c'eſt une table couverte d'un tapis bien tendu, & garnie de rebords bien rembourrés, dont l'élaſticité renvoie

les billes ou balles d'ivoire qui les rencontrent ; que les coups de ce jeu qui donnent du gain, ſont ceux où, par le choc de ſa bille, on envoie celle de ſon adverſaire dans quelqu'un des trous ſis aux angles & au milieu des grands cotés, qu'on nomme *belouſes*, &c.

Tout conſiſte donc, dans ce jeu, à reconnoître de quelle maniere il faut frapper la bille de ſon adverſaire avec la ſienne, pour que celle-là aille tomber dans une des belouſes, ſans s'y perdre ſoi-même. Ce problême, & quelques autres propres au jeu de billard, reçoivent leur ſolution des deux principes ſuivants :

1° Que l'angle d'incidence de la bille, contre une des bandes ou rebords, eſt égal à l'angle de réflexion ;

2° Que lorſqu'une bille en rencontre une autre, ſi l'on tire une ligne droite entre leurs centres, laquelle conſéquemment paſſera par le point de contact, cette ligne ſera la direction de la ligne frappée après le coup.

Cela ſuppoſé, voici quelques-uns des problêmes que ce jeu préſente.

I. *La poſition de la belouſe & celles des deux billes M, N, étant données, frapper celle M de ſon adverſaire enſorte qu'elle aille dans cette belouſe.*

Par le centre de la belouſe donnée & celui de cette bille, menez ou concevez une ligne droite ; le point où elle coupera la ſurface de la bille du côté oppoſé à la belouſe, ſera celui où il faudra la toucher pour lui donner la direction cherchée. En concevant donc la ligne ci-deſſus prolongée d'un rayon de la bille, le point O où elle ſe terminera, ſera celui par lequel devra paſſer la bille Pl. 7, fig. 33.

choquante. On ſent aiſément que c'eſt en quoi conſiſte l'habileté dans ce jeu : il ne s'agit que de frapper la bille convenablement ; & il eſt facile de voir ce qu'on doit faire, mais il ne l'eſt pas autant de l'exécuter.

On voit au teſte, par ce qu'on a dit plus haut, que, pourvu que l'angle NOB excede tant ſoit peu l'angle droit, il eſt poſſible d'envoyer la bille M dans la belouſe.

II. *Frapper une bille de bricole.*

Pl. 7, fig. 34. La bille M eſt cachée ou preſque cachée derriere le fer à l'égard de la bille N, enſorte que cherchant à la toucher directement, il ſeroit impoſſible de le faire, ou qu'il y auroit grand danger de rencontrer le fer & de la manquer : il faut alors chercher à toucher la bille de bricole ou par réflexion. Pour cela, concevez du point M ſur la bande DC, la perpendiculaire MO prolongée en *m*, de ſorte que O*m* ſoit égale à OM. Viſez à ce point *m ;* la bille N, après avoir touché la bande DC, ira choquer la bille M.

Fig. 35. Si l'on vouloit frapper la bille M par deux bricoles ou après deux réflexions, en voici la ſolution géométrique. Du point M, concevez ſur la bande BC la perpendiculaire MO prolongée, enſorte que O*m* ſoit égale à OM ; du point *m* ſoit conçue ſur la bande DC prolongée, la perpendiculaire *m*P prolongée en *q*, de ſorte que *q*P ſoit égale à P*m :* la bille N dirigée à ce point *q*, ira, après avoir frappé les bandes DC, CB, choquer la bille M.

La démonſtration en eſt facile pour quiconque eſt tant ſoit peu géometre.

III. *Une bille venant d'en choquer une autre ſelon une direction quelconque, quelle eſt, après ce choc, la direction de la bille choquante ?*

Il eſt important, dans le jeu de billard, de reconnoître quelle ſera, après avoir tiré ſur la bille de ſon adverſaire & l'avoir choquée obliquement, la direction de ſa bille propre; car tout le monde ſçait qu'il ne ſuffit pas d'avoir touché la premiere ou l'avoir pouſſée dans la belouſe; il faut ne pas y tomber ſoi-même.

Soient donc les billes M, N, dont la derniere va choquer la premiere en la touchant au point O. Par ce point O ſoit tirée la tangente OP; & par le centre *n* de la bille N arrivée au point de contact, ſoit menée ou conçue la parallele *np* à *o* P: la direction de la bille choquante ſera, après le choc, la ligne *np*. On iroit ici ſe perdre infailliblement, & c'eſt en effet ce qui arrive fréquemment dans cette poſition des billes. Les joueurs qui ſentent avoir à faire à des novices dans ce jeu, leur donnent même ſouvent cet acquit captieux, qui les fait perdre dans une des belouſes des coins. Il faut, dans ce cas, ſe bien garder de prendre la bille de ſon adverſaire de moitié, ſuivant le terme du jeu, pour la faire à un des coins de l'autre bout du billard; car, en l'y faiſant, on ne manque guere de ſe perdre ſoi-même dans l'autre coin. Pl. 7, fig. 36.

*REMARQUE.*

NOUS ſommes partis, en raiſonnant ſur ce jeu, des principes communs; mais nous ne pouvons nous diſſimuler que nous avons plus que de l'inquiétude ſur ce ſujet, & en voici le motif.

Si les billes n'avoient qu'un mouvement pro-

greſſif en avant, ſans volution autour de leur centre, les principes ci-deſſus ſeroient évidemment & ſuffiſamment démontrés. Mais tout le monde ſçait qu'indépendamment de ce mouvement progreſſif du centre, une bille roule ſur le tapis dans un plan qui lui eſt perpendiculaire. Lors donc qu'une bille touche la bande, & en eſt repouſſée avec une force à peu près égale à celle avec laquelle elle l'a choquée, ce mouvement ſemble devoir ſe compoſer avec le mouvement de rotation qu'elle avoit au moment du choc, & avec celui qu'elle a dans le ſens parallele à la bande. Or, puiſque le premier de ces mouvements, compoſé avec le dernier, donne l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, que devient donc le ſecond qui devroit altérer le premier réſultat ? C'eſt, ce me ſemble, un problême de dynamique, qui n'a été réſolu par perſonne, & qui mériteroit de l'être.

Quoi qu'il en ſoit, c'eſt ce mouvement de rotation qui, dans certaines circonſtances, donne un réſultat qui ſemble contrarier les loix du choc des corps élaſtiques ; car, ſuivant cette loi, quand un corps élaſtique en choque directement & centralement un autre qui lui eſt égal, ce premier doit s'arrêter, en communiquant toute ſa viteſſe au ſecond. Cela n'arrive cependant pas dans le jeu de billard ; car, dans ce cas, la bille choquante continue de marcher au lieu de s'arrêter tout court. Mais c'eſt là une ſuite du mouvement de la bille choquante autour de ſon centre, mouvement qui ſubſiſte encore en grande partie après le choc : c'eſt ce mouvement qui porte encore cette bille en avant.

## PROBLÊME XXXVI.

*Conſtruction d'une Pendule d'eau.*

ON appelle *pendule d'eau*, une montre ou horloge d'eau, qui a la figure d'un tambour ou barillet de métal bien ſoudé, comme ABCD, à laquelle le mouvement eſt donné par une certaine quantité d'eau renfermée dans l'intérieur. Cette horloge marque les heures le long de deux montants verticaux, contre leſquels elle eſt ſuſpendue par deux filets ou cordes fines, entortillées autour d'un eſſieu par-tout également épais, & qui traverſe le tambour de part & d'autre par le milieu. Le mécaniſme intérieur eſt extrêmement ingénieux, & mérite d'être développé, mieux qu'on ne le voit dans les éditions précédentes des *Récréations Mathématiques*, où M. Ozanam n'explique même pas comment cette machine marche & ſe ſoutient, pour ainſi dire, en l'air, ſans tomber tout-à-coup, comme il ſemble qu'elle devroit faire. Pl. 8, fig. 37.

Soit (*fig. 38*) le cercle 1 2 3 4, qui repréſente la coupe du barillet ou tambour, par un plan perpendiculaire à ſon axe. Nous le ſuppoſons de cinq à ſix pouces de diametre. Les lignes A, B, C, D, E, F, G, repréſentent ſept cloiſons du même métal que le barillet, & ſoudées exactement tant aux deux fonds qu'à la bande circulaire qui en fait le contour; ces ſept cloiſons ne doivent pas aller du centre à la circonférence, mais être un peu tranſverſales & tangentes à un cercle intérieur, d'environ un pouce & demi de diametre. Le petit quarré H eſt la coupe de l'eſſieu qui doit être quarré en cette partie, & traverſer les deux fonds du tambour, en s'encaſtrant très-juſte dans deux trous Fig. 38.

ſemblables faits autour de leur centre. Ajoutons encore que chaque cloiſon doit être percée le plus près qu'il ſe pourra de la circonférence du tambour, d'un petit trou rond, pratiqué avec la même aiguille, afin qu'il n'y ait aucune différence.

Suppoſons maintenant qu'on ait mis dans le tambour une certaine quantité d'eau, environ huit ou neuf onces, & qu'elle ſe ſoit déja diſtribuée comme l'on voit dans la *fig. 38*; que la ligne IK repréſente le double cordon GH, EF, (*fig. 37*) enroulé autour de l'eſſieu cylindrique : il eſt facile de voir que, ſi la machine étoit vuide, le centre de gravité, qui ſeroit le centre même de la figure, étant hors de la ligne de ſuſpenſion, & du côté où la machine tend à tomber, elle tomberoit en effet ; mais l'effet de l'eau contenue derriere la cloiſon D, eſt de retirer ce centre de gravité en arriere, enſorte que s'il étoit en deçà de la verticale KI prolongée, le tambour tourneroit de D en E pour atteindre cette verticale ; &, dans cette poſition, la machine reſteroit en équilibre ſi l'eau ne pouvoit paſſer d'une cavité à l'autre ; car le tambour ne ſçauroit rouler dans le ſens AGF, ſans faire remonter le centre de gravité du côté de D : de même il ne ſçauroit rouler davantage dans le ſens BCD, ſans que le même centre remontât du côté oppoſé. La machine doit donc reſter en équilibre, & y perſiſter tant que rien ne ſera changé.

Mais ſi, par le trou de la cloiſon D, l'eau s'écoule peu à peu entre les cloiſons D, E, il eſt clair que le centre de gravité s'avancera tant ſoit peu en delà de KI prolongée, & la machine roulera imperceptiblement dans le ſens AGF ; & comme, en deſcendant ainſi, le centre de gravité eſt retiré vers la verticale KI prolongée, l'équilibre ſe rétablira

blira en même temps, & ce mouvement continuera tant que la corde ſoit toute déſenroulée de deſſus l'eſſieu. Ce mouvement : à la vérité, ne ſera pas tout-à-fait uniforme, car il eſt évident que, lorſque l'eau ſera preſque en entier derriere la cloiſon D, le tambour roulera plus vîte que lorſqu'elle ſera preſque écoulée ; & les périodes de ces inégalités ſeront dans une révolution totale du tambour, en même nombre que celui des cloiſons; ce que ne paroiſſent pas avoir appercu ceux qui ont traité de ces ſortes d'horloges.

C'eſt pourquoi, pour avoir une diviſion exacte du temps par ce moyen, il faut faire une marque à la circonférence du barillet; après quoi, ayant monté la machine au plus haut, & l'avoir diſpoſée de maniere que la marque en queſtion ſoit au plus haut du barillet, vous aurez une bonne montre, avec laquelle vous marquerez, pendant une révolution entiere, les points des heures écoulées. Il faut faire enſorte que ce nombre d'heures ſoit un nombre entier, comme 2, 4, 6, &c; &, pour cet effet, retarder ou accélérer le mouvement de la machine, juſqu'à ce que l'on ait atteint cette préciſion; ſans quoi on pourra fort bien ſe tromper de pluſieurs minutes, peut-être d'un demi-quart d'heure. On verra plus bas comment on peut accélérer ou retarder ce mouvement.

Enfin, lorſqu'on remontera la pendule, il faudra avoir attention que l'eſſieu, étant placé contre la premiere diviſion, la marque faite au barillet ſoit dans la même poſition; ſans quoi, je le répete, il ne faut compter ſur l'heure qu'à pluſieurs minutes près. Voici maintenant quelques obſervations utiles, relativement à cet objet.

I. Il eſt de toute néceſſité que l'eau qu'on em-

ploiera ſoit diſtillée, ſans quoi elle contractera bientôt des vices qui lui feront obſtruer les trous par leſquels elle doit couler, & la machine s'arrêtera.

II. La matiere la plus propre à faire le barillet de ces montres, eſt l'or, ou l'argent, ou, ce qui eſt moins coûteux, le cuivre rouge bien étamé en dedans, ou enfin l'étain.

III. Cette machine eſt ſujette à aller un peu plus vîte en été qu'en hiver; c'eſt pourquoi il eſt à propos de la régler de temps en temps, & de la retarder ou accélérer. Pour cet effet, il eſt bon de lui ajouter un petit contrepoids tendant à la
Pl. 8, fig. 39. faire rouler en dehors. Ce petit contrepoids doit être en forme de ſeau, & de quelque matiere légere, enſorte qu'on puiſſe le charger plus ou moins, au moyen de petits grains de plomb. Veut-on accélérer la machine, on y ajoutera un, ou deux, ou plus de grains; veut-on la retarder, on en ôtera; ce qui ſera beaucoup plus commode que d'ajouter de l'eau ou d'en ôter.

IV. Il faut que l'endroit de l'inſertion de l'eſſieu dans le tambour ſoit hermétiquement clos, ſans quoi l'eau s'évaporera peu à peu, la machine retardera continuellement, & enfin s'arrêtera.

V. Avec toutes ces précautions, il eſt aiſé de ſentir qu'une machine de cette eſpece eſt plus curieuſe que propre à meſurer le temps avec préciſion. Cela peut être bon dans la cellule d'un religieux, ou dans un cabinet de curioſités mécaniques; mais l'aſtronomie n'en fera certainement pas uſage.

VI. On ne ſçait guere quel eſt l'inventeur de cette eſpece d'horloge. M. Ozanam écrivoit, en 1693, que les premieres qu'on vit à Paris vers ce temps-là, avoient été apportées de Bourgogne: il

ajoute que le pere Thimothée, Barnabite, qui excelloit dans les mécaniques, avoit donné à cette horloge d'eau toute la perfection dont elle étoit ſuſceptible. Ce religieux en avoit fait une haute d'environ cinq pieds, qui ne ſe montoit qu'une fois en un mois. On y voyoit, outre les heures marquées ſur le haut de la boîte, dans un cadran régulier, le quantieme du mois, les fêtes de l'année, le lieu du ſoleil dans le zodiaque, ſon lever & ſon coucher, ainſi que la longueur du jour & de la nuit. Cela s'exécutoit par le moyen d'un petit ſoleil qui deſcendoit imperceptiblement, & qu'on levoit au bout du mois au haut de la boîte, lorſqu'il étoit parvenu au plus bas.

Le pere Martinelli a traité fort au long de ces pendules, dans un ouvrage italien, intitulé *Horologi Elementari*, où il enſeigne à faire des horloges au moyen des quatre éléments, l'eau, la terre, le feu & l'air. Cet ouvrage fut imprimé à Veniſe en 1663, & eſt fort rare. On y voit comment on peut adapter à une pendule d'eau des ſonneries, & toutes les autres particularités qui accompagnent quelquefois les horloges à roues. Nous pourrons, à l'imitation de M. Ozanam, en donner la traduction à la ſuite de cet ouvrage, en l'abrégeant néanmoins.

## PROBLÊME XXXVII.

### *PARADOXE MÉCANIQUE.*

*Comment, dans une balance, des poids égaux placés à quelque diſtance que ce ſoit du point d'appui, ſe tiennent en équilibre.*

FAITES un chaſſis quarré, tel que DEFG, de quatre petites regles de bois tellement aſſemblées, Pl. 8, fig. 40.

qu'elles puiſſent ſe mouvoir librement ſur les angles, enſorte que ce chaſſis puiſſe paſſer de la forme de rectangle à celui de parallélogramme, comme *e f g d*. Les longs côtés doivent être environ doubles des autres. Dans le montant perpendiculaire BC, de la groſſeur convenable, eſt pratiquée une fente, dans laquelle eſt inſérée ce chaſſis, de maniere qu'il ſoit mobile ſur les deux points I, H, où il eſt attaché au montant perpendiculaire par deux petits axes; enfin les petits côtés ED, FG, ſont traverſés chacun par une piece de bois, telles que MN, KL, qui leur ſont attachées fixément; le tout eſt porté ſur un pied tel que AB.

Maintenant, qu'on ſuſpende le poids P au point M, qui eſt preſque à l'extrémité du bras MN, la plus éloignée du centre ou des centres de mouvement; qu'on ſuſpende le poids Q égal au premier, d'un point R quelconque de l'autre bras KL, plus près du centre, & même en dedans du chaſſis: ces deux poids ſe feront toujours équilibre, quoiqu'inégalement éloignés du point d'appui ou de mouvement de cette eſpece de balance; & ils y reſteront auſſi, quelque ſituation qu'on donne à la machine, comme *e d f g*.

La raiſon de cet effet, qui ſemble d'abord contredire les principes de la ſtatique, eſt cependant aſſez ſimple; car deux corps égaux ſont en équilibre, lorſque la machine à laquelle ils ſont ſuſpendus étant ſuppoſée prendre quelque mouvement, les deſcentes de ces deux poids ſont égales & ſemblables. Or il eſt aiſé de voir que cela doit néceſſairement arriver ici, puiſque les deux poids, quelle que ſoit leur poſition, ſont néceſſités à décrire des lignes égales & paralleles.

On voit auſſi avec facilité que, dans une pareille machine, quelle que ſoit la poſition des poids le long des bras MN, KL, c'eſt la même choſe que s'ils étoient ſuſpendus du milieu des petits côtés du chaſſis mobile, ED, FG. Or, dans ce dernier cas, des poids égaux ſeroient en équilibre; donc, &c.

## PROBLÊME XXXVIII.

*Quelle eſt la viteſſe qu'on doit donner à une machine mue par un courant d'eau, pour qu'elle produiſe le plus grand effet?*

On concevra facilement que cela n'eſt point indifférent, ſi l'on fait l'obſervation ſuivante. Si la roue ſe mouvoit avec la même viteſſe que le fluide, elle n'en éprouveroit aucune impreſſion; conſéquemment le poids quelle éleveroit ſeroit nul, ou infiniment petit. Si, au contraire, elle étoit immobile, elle éprouveroit toute l'impreſſion du courant; mais il y auroit équilibre: il n'y auroit donc point de poids enlevé, & conſéquemment point d'effet. Il y a donc une certaine viteſſe, moyenne entre une viteſſe égale à celle du courant & une viteſſe nulle, qui donnera l'effet le plus grand; effet qui eſt proportionnel, dans un temps donné, au produit du poids par la hauteur à laquelle il eſt élevé.

Nous ne donnerons pas ici l'analyſe qui conduit à la ſolution du problême. Nous nous bornons à obſerver que, dans une machine de la nature ci-deſſus, la viteſſe de la roue doit être égale au tiers de celle du courant. Il faut conſéquemment augmenter la réſiſtance ou le poids, juſqu'à ce que la viteſſe ci-deſſus ſoit comme on vient de dire. La

machine produira alors le plus grand effet dont elle eſt ſuſceptible.

## PROBLÊME XXXIX.

*Quel eſt le nombre d'aubes qu'on doit mettre à une roue mue par un courant d'eau, pour qu'elle produiſe le plus grand effet ?*

ON a cru pendant long-temps que les aubes d'une pareille roue devoient être tellement proportionnées que, lorſqu'une d'elles ſe trouvoit verticale ou au milieu de ſon immerſion, la ſuivante ne fit qu'entrer dans l'eau. On en donnoit bien des raiſons, que néanmoins le calcul dément auſſi bien que l'expérience.

Il eſt aujourd'hui démontré que plus une roue ſemblable a d'aubes, plus grand eſt ſon effet, & plus il eſt uniforme. C'eſt ce qui réſulte des recherches de M. l'abbé de Valernod, de l'académie de Lyon, & de celles de M. du Petit-Vandin, qu'on lit dans le Ier Vol. des Mém. des Sçavants étrangers. M. l'abbé Boſſut, qui a examiné à l'aide de l'expérience, la plupart des théories hydrauliques, a auſſi démontré la même choſe. Dans les expériences qu'il a faites, une roue garnie de quarante-huit aubes a produit un plus grand effet qu'une garnie de vingt-quatre, & celle-ci plus que celle garnie de douze, en les plongeant également dans l'eau. Auſſi M. du Petit-Vandin obſerve-t-il qu'en Flandres, où l'eau courante eſt aſſez rare pour qu'on la ménage autant qu'il ſe peut, on ne met jamais moins de trente-deux aubes à une roue, & qu'on en met juſqu'à quarante-huit lorſque la roue a 15 à 18 pieds de diametre.

## PROBLÊME XL.

*Un bâton ou cylindre plein, & un autre creux & de même ſolidité, étant propoſés, lequel des deux réſiſtera davantage à être rompu par un poids ſuſpendu à une de leurs extrémités, l'autre étant fixe? On les ſuppoſe de la même longueur.*

QUELQUES-UNS de nos lecteurs, & peut-être pluſieurs, ſeront tentés de penſer que la baſe de rupture étant la même, tout doit être égal: on eſt même tenté, du premier abord, de regarder le bâton ou cylindre plein, comme doué d'une plus grande réſiſtance à être rompu; mais on ſeroit dans l'erreur.

Galilée, qui le premier a examiné mathématiquement la réſiſtance des ſolides à être rompus par un poids ſur un appui, Galilée, dis-je, a fait voir que le cylindre creux réſiſtera bien davantage, & qu'il réſiſtera d'autant plus qu'il y aura plus de creux. Il fait même voir, d'après une théorie fort approchante de la vérité, que la réſiſtance du cylindre creux ſera à celle du plein, comme le rayon total du creux à celui du plein. Ainſi un cylindre creux ayant autant de vuide que de plein, réſiſtera plus que le plein dans le rapport de $\sqrt{2}$ à 1 ou de 1.141 à 1.000; car le premier aura $\sqrt{2}$ pour rayon, tandis que le premier aura un rayon égal à l'unité. Un cylindre creux, ayant deux fois autant de vuide que de plein, réſiſtera plus que ce dernier en raiſon de $\sqrt{3}$ à 1, ou de 1.73 à 100; car leurs rayons ſeront dans le rapport de $\sqrt{3}$ à 1. Un cylindre creux, dont la ſolidité ne ſeroit que la vingtieme partie du volume total, réſiſteroit plus que le cylindre plein de même ſolidité, en raiſon de $\sqrt{21}$, ou 4.31 à 100, &c.

*REMARQUE.*

IL eſt aiſé d'obſerver, & Galilée ne manque pas de le faire, que ce mécaniſme eſt celui dont la Nature ou ſon ſouverain Auteur s'eſt ſervi pour concilier en pluſieurs occaſions la ſolidité avec la légéreté. Ainſi les os de la plupart des animaux ſont creux ; ils euſſent perdu de leur force à être ſolides avec la même quantité de matiere ; ou, pour leur donner la même réſiſtance, il eût fallu les rendre plus maſſifs, ce qui eût nui à la facilité du mouvement. Les tiges de beaucoup de plantes ſont creuſes par la même raiſon. Enfin, les plumes des oiſeaux, dans la formation deſquelles il falloit allier beaucoup de force à une grande légéreté, ſont creuſes, & leur cavité eſt même la plus grande partie de leur diametre total, enſorte que les parois ſont extrêmement minces.

## PROBLÊME XLI.

*Fabriquer une lanterne qui conſerve la lumiere au fond de l'eau.*

IL faut que la lanterne ſoit de cuir, qui réſiſte mieux aux flots que toute autre matiere. On ajoutera à cette lanterne deux tuyaux qui auront communication avec l'air ſupérieur ; l'un pour recevoir de nouvel air, afin d'entretenir la lumiere ; l'autre pour ſervir de cheminée, & donner paſſage à la fumée ; tous deux aſſez élevés au deſſus de l'eau pour n'être pas couverts par les vagues dans les gros temps. On conçoit que le tuyau qui ſervira à donner de nouvel air, doit avoir communication par le bas de la lanterne, & celui qui ſert de cheminée en doit avoir par le haut. On fera

dans le cuir tout autant de trous qu'on voudra, pour y placer des verres qui repandront la lumiere de tous côtés. Enfin on ſuſpendra la lanterne avec du liege, afin qu'elle s'éleve & s'abaiſſe avec les flots.

Cette eſpece de lanterne, dit M. Ozanam, pourroit ſervir à pêcher à la lumiere; mais ce qu'il ne dit pas, c'eſt que cette pêche eſt ſévérement défendue par de ſages ordonnances.

## PROBLÊME XLII.

*Conſtruire une lampe qui, dans toutes ſes ſituations, conſerve ſon huile, quelque mouvement & quelqu'inclinaiſon qu'on lui donne.*

POUR conſtruire une lampe ſemblable, il faut d'abord que le corps de la lampe, ou le vaſe qui contient l'huile & la meche, ait la forme d'un ſegment ſphérique. Ce ſegment aura à ſon bord deux pivots diamétralement oppoſés, qui rouleront dans deux trous pratiqués aux extrémités du diametre d'un cercle de fer ou de laiton. Ce cercle aura lui-même deux autres pivots diamétralement oppoſés, & éloignés de 90° des trous où portent les premiers: ces ſeconds pivots tourneront dans deux trous diamétralement oppoſés d'un ſecond cercle. Ce ſecond cercle doit enfin avoir auſſi deux pivots, qui ſeront inſérés dans un autre corps concave, propre à environner toute la lampe.

Il eſt aiſé de voir qu'au moyen de cette ſuſpenſion, quelque mouvement qu'on donne à la lampe, à moins qu'il ne ſoit trop précipité, elle ſe tiendra dans une ſituation horizontale.

Cette ſuſpenſion eſt celle de la bouſſole, que les marins ont tant d'intérêt d'obſerver & de tenir

dans une ſituation horizontale. J'ai lu quelque part que l'empereur Charles V s'étoit fait faire une voiture ſuſpendue de cette maniere, pour être à l'abri du danger de verſer.

## PROBLÊME XLIII.

*Conſtruction d'un anémoſcope & d'un anémometre.*

CES deux machines, qu'on confond vulgairement, ne ſont pourtant pas la même choſe. L'anémoſcope eſt celle qui ſert à reconnoître la direction du vent; ainſi, à proprement parler, une girouette eſt un anémoſcope. On entend au reſte ordinairement par-là, une machine plus compoſée, & qui marque ſur une eſpece de cadran, ſoit intérieur, ſoit extérieur à une maiſon, la direction du vent qui ſouffle. Quant à l'anémometre, c'eſt un inſtrument qui ſert à marquer non-ſeulement la direction, mais la durée & la force du vent.

Pl. 9, fig. 41. Le mécaniſme d'un anémoſcope eſt fort ſimple. Qu'on imagine une girouette élevée au deſſus du comble d'une maiſon, & portée ſur un axe qui, traverſant le toit, s'appuie par ſa pointe ſur une crapaudine; le mouvement doit en être aſſez facile pour obéir à la moindre impulſion du vent. Cet axe vertical porte une roue dentée, horizontale, à dents poſées de champ; & cette roue s'engrene avec une autre préciſément égale & verticale, qui eſt attachée à un axe horizontal, lequel porte à ſon extrémité l'aiguille d'un cadran. Il eſt viſible que la girouette ne ſçauroit faire un tour, que l'aiguille ci-deſſus n'en faſſe un préciſément. Ainſi, ſi l'on fixe la poſition de cette aiguille de maniere qu'elle ſoit verticale quand le vent eſt nord, & qu'on obſerve dans quel ſens elle tourne

quand il paſſe à l'oueſt, il ſera facile de diviſer le cadran en ſes trente-deux airs de vent.

On peut auſſi ſe procurer aſſez facilement un anémometre, s'il n'eſt queſtion que de meſurer l'intenſité ou la force du vent. En voici un que nous propoſons. La figure quarante-deuxieme repréſente encore une girouette attachée fixément à un axe vertical. Tranſverſalement au plan de la girouette, eſt fermement implantée une barre de fer horizontale AB, dont les extrémités recourbées à angles droits, ſervent à ſoutenir un eſſieu horizontal, autour duquel tourne un chaſſis mobile ABCD, d'un pied de hauteur & d'un pied de largeur. Au milieu du côté inférieur de ce chaſſis, ſoit attaché un fil de ſoie délié & aſſez fort, qui paſſe ſur une poulie adaptée en F, dans une fente pratiquée dans l'axe vertical, d'où il deſcend le long de cet axe juſques dans l'étage au deſſous du toit. La diſtance GF doit être égale à GE. Le bout de ce fil ſoutiendra un petit poids, ſeulement ſuffiſant pour le tendre. Quand le chaſſis, que la girouette préſentera toujours directement au vent, eſt ſoulevé, (& il le ſera plus ou moins, ſuivant la force du vent), le petit poids ci-deſſus ſera auſſi ſoulevé, & marquera, contre une échelle appliquée à l'axe de la girouette, la force de ce vent. On ſent aiſément qu'elle ſera nulle lorſque le petit poids ſera au plus bas, & la plus grande poſſible lorſqu'il ſera au plus haut, ce qui indiqueroit que le vent tiendroit le chaſſis horizontalement. Pl. 9, fig. 42.

On pourra, ſi l'on veut, déterminer avec plus de préciſion la force du vent, ſelon les différentes inclinaiſons du chaſſis; car on trouve que cette force ſera toujours égale au poids abſolu du chaſſis qui eſt connu, multiplié par le ſinus de l'angle

qu'il fait avec la verticale, & diviſé par le quarré du même angle. Il ne s'agira donc que de connoître, par le mouvement du petit poids attaché au filet EFP, l'inclinaiſon du chaſſis. Or c'eſt ce qui eſt facile; car il eſt aiſé de voir que la quantité dont il ſera élevé au deſſus du point le plus bas, ſera toujours la corde de l'angle du chaſſis avec le plan vertical, ou le double du ſinus de la moitié de cet angle. Ainſi l'on pourroit marquer le long de l'échelle la grandeur de cet angle, & de l'autre la force du vent, calculée d'après la regle précédente.

On lit dans les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pour l'année 1734, la deſcription d'un anémometre inventé par M. d'Ons-en-Bray, pour marquer à-la-fois la direction du vent, ſa durée dans cette direction, & ſa force. Cet anémometre mérite que nous en donnions ici une idée.

Il eſt compoſé de trois parties, ſçavoir, d'une pendule ordinaire, qui ſert aux uſages qu'on indiquera, & de deux machines; l'une qui ſert à marquer la direction du vent & ſa durée, l'autre à marquer ſa force.

La premiere de ces machines eſt compoſée, comme l'anémoſcope ordinaire, d'un axe vertical portant une girouette, & qui, au moyen de quelques roues dentées, marque d'abord ſur un cadran le nom du vent qui ſouffle; le bas de cet axe enfile un cylindre, ſur lequel ſont implantées trente-deux pointes ſur une ligne ſpirale. Ce ſont ces pointes qui, par la maniere dont elles ſe préſentent, appuient contre un papier préparé, & tendu entre deux colonnes ou axes verticaux, ſur l'un deſquels il s'enroule pendant qu'il ſe déſenroule de deſſus l'autre. Ces roulement & déſenroulement ſont éxé-

cutés par le mouvement ſimultané des deux axes, qui leur eſt communiqué par la pendule dont nous avons parlé. On ſent maintenant que, ſuivant la poſition de la girouette, une pointe ſe préſentant contre le papier préparé, & qui coule au devant en appuyant légérement contr'elle, elle y laiſſe une trace, & la longueur de cette trace indique la durée du vent. Si deux pointes voiſines marquent à-la-fois, c'eſt une preuve que le vent tenoit une direction moyenne.

La partie de l'anémometre qui marque la force du vent, eſt compoſée d'une eſpece de moulin à la polonoiſe, qui tourne d'autant plus vîte que le vent eſt plus fort. Son axe vertical porte une roue qui mene une petite machine dont l'effet eſt, après un certain nombre de tours, de frapper avec une pointe ſur une bande de papier, qui a un mouvement ſemblable à celui de la partie de l'anémometre qu'on a décrite plus haut. Le nombre de ces coups, dont chacun eſt marqué par un trou, leur nombre, dis-je, ſur une longueur déterminée de ce papier mobile, ſert à déſigner la force du vent, ou plutôt la viteſſe de la circulation du moulin, qui lui eſt à peu près proportionnelle. Mais on doit voir dans les Mémoires de l'Académie cités, le développement de tout ce mécaniſme, dont le peu de place que nous avons ne nous permet de donner qu'une légere idée.

## PROBLÊME XLIV.

*Conſtruction d'un peſon, au moyen duquel on puiſſe ſans poids meſurer la peſanteur des corps.*

NOUS allons donner ici les deſcriptions de deux inſtruments de ce genre, l'un portatif, & deſtiné

à meſurer des poids médiocres, comme de 1 à 25 ou 30 livres ; le ſecond fixe, pour des poids beaucoup plus conſidérables, & même de pluſieurs milliers. On en voit un de ce dernier genre à la Douane de Paris, où l'on s'en ſert avec beaucoup de commodité pour les poids qui ſont entre 100 & 3000 livres.

Pl. 9, fig. 43. Le premier de ces peſons eſt repréſenté par la *fig.* 43. Il eſt compoſé d'un tuyau ou canon de métal AB, auquel on peut donner environ 6 pouces de longueur & 8 lignes de diametre. Ce tuyau eſt repréſenté ouvert dans la plus grande partie de ſa longueur, pour laiſſer voir au dedans un reſſort d'acier en ſpirale. Il y a au bout d'en haut A, un trou quarré qui laiſſe paſſer une verge de cuivre auſſi quarrée, dont le reſſort eſt traverſé, enſorte qu'on ne peut la retirer ſans comprimer le reſſort contre le fond ſupérieur du canon. Le bas de ce canon porte enfin un crochet, pour y ſuſpendre les corps que l'on veut peſer.

Il eſt maintenant ſenſible que ſi l'on applique à ce crochet, pendant que le peſon eſt retenu par ſon anneau, des corps de différente peſanteur, ils entraîneront plus ou moins du canon, en forçant le reſſort contre ſon fond ſupérieur. Ainſi l'on diviſera la verge, en ſuſpendant ſucceſſivement au crochet des poids de différente peſanteur, comme une livre, deux livres, &c, juſqu'au plus grand qu'on puiſſe peſer; l'on examinera & marquera d'un trait, accompagné du numéro du poids, la partie de la verge qui ſortira du canon ; & l'inſtrument ſera préparé. Lorſqu'enfin on voudra s'en ſervir, on n'aura qu'à paſſer le doigt dans l'anneau de la verge, ſoulever le poids attaché au crochet, & regarder ſur la face diviſée de la verge

la diviſion qui eſt juſte contre le trou; elle indiquera le nombre de livres que peſe le corps propoſé.

Le ſecond peſon annoncé plus haut, eſt formé de deux barres adoſſées l'une à l'autre, ou d'une ſeule, ABCDE, courbée comme l'on voit dans la *fig.* 44. La partie AB eſt fixément attachée à une poutre, & la partie DE eſt terminée en E par un crochet propre à ſuſpendre les poids qu'on veut peſer. Cette partie ED porte dans ſon prolongement une verge de fer dentelée en crémaillere, qui engrene dans un pignon, lequel porte une roue dentée, & cette roue dentée s'engrene dans un autre pignon dont l'axe porte une aiguille, qui fait une révolution juſte, quand au crochet E eſt ſuſpendu un poids de trois milliers. Car il eſt aiſé de voir que l'on ne peut ſuſpendre en E un poids, ſans que le reſſort DCB ſoit ouvert plus ou moins; ce qui donne à la crémaillere DF un mouvement qui fait tourner le pignon auquel elle s'engrene, &, par ſon moyen, la roue dentée & le ſecond pignon auquel l'aiguille eſt attachée. Il n'eſt pas moins facile de ſentir qu'on peut, en conſtruiſant la machine, donner à ſon reſſort une telle force, ou combiner ſes roues, de maniere qu'un poids déterminé, comme de 3000 livres, faſſe faire à l'aiguille une révolution complette. Le centre du mouvement de cette aiguille eſt enfin celui d'un cadran circulaire, qui ſert à porter les diviſions & indiquer les poids. Ces diviſions doivent être faites en ſuſpendant ſucceſſivement des poids moindres que le plus grand, en progreſſion arithmétique, comme 29 quintaux, 28, 27, &c.: cela donnera les diviſions principales, qu'on pourra du reſte, ſans erreur conſidérable, ſubdiviſer en parties égales.

Pl. 9, fig. 44.

Cette conſtruction faite, pour peſer un poids au deſſous de trois milliers, il n'y a qu'à le ſuſpendre au crochet E, & l'aiguille marquera ſur le cadran ſa peſanteur en quintaux & en livres.

*REMARQUE.*

IL eſt bon d'obſerver qu'une pareille maniere de peſer ne ſçauroit être entiérement exacte, qu'en ſuppoſant la température de l'air la même; car dans le froid les reſſorts ſont plus roides, & dans la chaleur ils le ſont moins. Je ne doute point, par cette raiſon, que le même poids peſé en hiver & en été au peſon de la Douane de Paris, ne préſentât des différences. Il doit paroître peſer moins en hiver qu'en été.

## PROBLÊME XLV.

*Fabriquer une voiture dont un goutteux puiſſe ſe ſervir pour ſe promener, ſans ſecours d'hommes ou de chevaux.*

Pl. 10, fig. 45. LA *fig. 45* repréſente le deſſin d'une ſemblable voiture. On y reconnoîtra facilement,

1° Deux grandes roues, qui doivent avoir environ 44 pouces de diametre, avec une jante d'une ſeule piece, recouverte auſſi d'une bande de fer d'une ſeule piece. Cette jante doit être un peu large, pour moins enfoncer.

2° Vers les deux tiers de chaque rais, eſt appliqué un rouleau d'un pouce d'épaiſſeur, & de 3 pouces 4 lignes de diametre, tournant ſur ſon axe, qui eſt implanté par un bout dans le rais, & de l'autre dans un cercle de fer plat, qui ſert à les retenir tous au moyen de vis & écroux.

3° Sur chaque brancard, au deſſus de l'endroit où il eſt traverſé par l'eſſieu des deux roues, eſt implanté

implanté un ſupport en forme de fourchette, ſervant à ſoutenir l'axe d'une manivelle, lequel porte à ſon extrémité une roue à quatre dents taillées en épicycloïde, leſquelles s'engrenent avec les rouleaux ci-deſſus, & ſervent à faire tourner la roue. Le bras de la manivelle doit avoir ſeulement 8 à 9 pouces de longueur.

4° On voit dans la *fig. 46*, qui repréſente les mêmes choſes en plan, la forme du brancard, qui eſt compoſé de deux pieces de bois paralleles, un peu concaves en enhaut, que tient par derriere une barre de bois tournée, & pardevant une piece de fer. Ces deux traverſes ſervent à ſoutenir les deux ſoupentes deſtinées à porter un petit fauteuil garni de ſon doſſier & de ſon marche-pied. On pourra, ſi l'on veut, le ſurmonter d'un paraſol en impériale. Il doit être, comme on voit, un peu en arriere, pour que le poids de la perſonne ne faſſe pas tomber la voiture en devant. Le deſſous du marche-pied, qui eſt fermement attaché à l'eſſieu des roues, eſt au ſurplus garni d'une piece de fer recourbée, qui, dans le cas où la machine pencheroit en devant, ſert à la retenir en s'appuyant ſur le pavé. Pour retenir la machine par derriere, il y a une roue plus petite, attachée au milieu de la traverſe de derriere, par un mécaniſme ſemblable à celui des roulettes qu'on met ſous les pieds des lits, & dont l'axe vertical eſt embraſſé, pour plus de ſolidité, par une barre de fer attachée à l'eſſieu des grandes roues. Enfin les extrémités des brancards ſont garnies par derriere de deux mains, pour faciliter à un domeſtique le moyen de pouſſer dans les endroits plus difficiles; & au devant il y a deux étriers, ſervant à y paſſer & aſſujettir les deux bras d'un brancard ordinaire, pour atteler un Pl. 10, fig. 46.

cheval à la voiture, ſi on le juge à propos. On peut voir de plus grands détails ſur cette machine dans les Mémoires préſentés à l'Académie Royale des Sciences par divers ſçavants, Tome IV.

Son auteur (M. Brodier) l'ayant fait exécuter, nous apprend que, compris le poids de ſon corps, elle ne peſoit que 378 livres; &, en calculant ſon effet ſuivant les principes de la mécanique, il a trouvé qu'on pouvoit faire ſur un plan incliné de 8 degrés, 200 toiſes de chemin en 23 minutes; ce qui eſt conforme à ſon expérience. A la vérité, en montant ainſi, on ne tarderoit pas d'être fatigué. Mais, ſur un chemin de terre un peu ferme, & ſur un pavé horizontal, on peut ſe conduire aſſez long-temps, ſur-tout ſi l'on eſt aidé, ne fût-ce que par un enfant de quatorze à quinze ans, dans les endroits difficiles.

On lit dans les précédentes éditions des *Récréations Mathématiques*, les deſcriptions très-ſommaires de quelques machines ſemblables. La premiere eſt une petite chaiſe roulante, de la forme ordinaire, à quatre roues, dont celles de devant ſont mobiles ſur leur axe, & ne doivent rouler que par l'impulſion de celles de derriere. Celles-ci ſont fixément attachées à leur axe, qui doit porter à ſon milieu un pignon ſervant à engrener une roue de champ, que la perſonne aſſiſe dans la voiture doit faire tourner au moyen d'une manivelle. Nous doutons que cette machine ait jamais été exécutée avec ſuccès; ou, pour mieux dire, n'en déplaiſe à M. Ozanam, nous la trouvons très-vicieuſe, puiſque la puiſſance motrice ſe trouve ici appliquée préciſément le plus près du centre du mouvement.

L'autre voiture marchoit, dit M. Ozanam, au

moyen d'un laquais placé derriere, qui agiſſoit alternativement avec ſes pieds ſur deux tringles mouvantes. Ces deux tringles, en s'élevant & en s'abaiſſant, menoient deux eſpeces de planchettes qui s'engrenoient dans des roues dentées, fixées à l'eſſieu des grandes roues. Mais tout cela eſt ſi mal expliqué par M. Ozanam, & dans le diſcours, & dans la figure, qu'on n'y conçoit rien; c'eſt pourquoi nous avons jugé à propos de changer totalement cet article, comme tant d'autres auſſi vicieux, & dans la forme, & dans le fonds.

## PROBLÊME XLVI.

*Conſtruction d'une petite figure qui, livrée à elle-même, deſcend ſur ſes pieds & ſes mains le long d'un petit eſcalier.*

On a apporté des Indes, il y a quelques années, cette petite machine qui eſt fort ingénieuſement imaginée, & à laquelle on donne le nom de *ſautriaut*, parceque ſon mouvement eſt aſſez reſſemblant à celui de ces ſauteurs qui ſe renverſent en arriere ſur leurs mains, relevent leurs pieds, & achevent le tour en ſe remettant debout. Mais le ſautriaut ne peut exécuter ce mouvement qu'en deſcendant, & le long d'une ſorte d'eſcalier. Voici l'artifice de cette petite machine.

AB eſt une planchette de bois léger, d'environ 20 lignes de longueur, 2 d'épaiſſeur, & 6 de hauteur. Vers ſes deux extrémités ſont percés les deux trous C & D, qui ſervent à y placer deux petits axes, autour deſquels doivent tourner les bras & les jambes du ſautriaut. Aux deux extrémités de cette planchette, ſont deux petits réceptacles, de la forme que l'on voit dans la figure, c'eſt- Pl. 11, fig. 47.

à-dire à peu près concentriques aux trous C & D, avec un prolongement oblique vers le milieu de la planchette. Des extrémités de ces deux prolongements F & G, partent deux canaux G*g*, F*f*, percés dans l'épaiſſeur de la planchette, & d'une ligne à peu près de diametre.

On bouche enſuite les deux réceptacles par deux feuilles de carton très-léger, appliquées ſur les côtés; & l'on met dans l'un d'eux du mercure, enſorte qu'il ſoit, à peu de choſe près, rempli. On place ſur l'axe qui paſſe par un des trous, C, deux ſupports recoupés en forme de jambe, avec des pieds un peu allongés, pour leur donner plus d'aſſiete; & ſur l'axe paſſant par l'autre trou D, on place deux ſupports figurés en bras, avec leurs mains dans la ſituation propre à ſervir de baſe lorſque la machine eſt retournée en arriere. On applique enfin à la partie GH, une eſpece de maſque de moëlle de ſureau, que l'on coiffe à la maniere des ſauteurs: on figure au deſſous un ventre avec de la même matiere; & l'on revêt cette figure d'une eſpece de jaquette de taffetas, deſcendant juſqu'au milieu des cuiſſes. Voilà la petite machine à peu de choſe près conſtruite. En voici le jeu.

Pl. 11, fig. 48, 49, n° 1. Concevons d'abord la figure poſée debout ſur ſes jambes, comme on voit *fig. 48*, ou dans la *49*, n° 1. Tout le poids étant d'un même côté de l'axe de rotation C, à cauſe du mercure dont le réceptacle de ce côté eſt rempli, la machine doit trébucher de ce côté, & ſe renverſeroit totalement en arriere, ſi les bras ou les ſupports tournants autour de l'axe D, ne ſe préſentoient verticalement; mais, comme ils ſont plus courts que les jambes, la machine prend la poſition de la

*fig.* 49, n° 2 ; & alors le mercure trouvant le petit canal G*g* incliné à l'horizon, coule avec impétuosité dans le réceptacle placé du côté D. Pl. 11, fig. 49, n° 2.

Supposons donc qu'à cet instant la machine repose sur les appuis ou bras DL, tournants autour de l'axe D ; il est évident que si la machine vuide est fort légere, le mercure, qui se trouvera tout au delà du point de rotation D, l'emportera par sa prépondérance considérable, & fera tourner la machine autour de l'axe D ; ce qui la relevera, & la fera retourner de l'autre côté. Mais comme les appuis CK doivent nécessairement être plus longs que les autres DL, afin que la ligne CD ait l'inclinaison convenable pour que le mercure puisse couler par le petit canal F*f* d'un réceptacle à l'autre, il faut que la base fasse un ressaut double en hauteur de la différence de ces supports, sans quoi la ligne F*f* non-seulement n'atteindroit pas l'horizontale, mais resteroit inclinée dans le sens contraire à celui qu'elle devroit avoir.

La machine étant donc arrivée à la situation DL, *fig.* 49, n° 3, & le mercure ayant repassé dans le réceptacle du côté de C, il est évident que le même mécanisme que dessus la relevera, en la faisant tourner autour du point C, & la renversera de l'autre côté, où les deux appuis tournants sur l'axe C, lui présenteront une base ; ce qui la remettra dans la position de la *fig.* 49, n° 2 ; & ainsi de suite : c'est pourquoi ce mouvement sera perpétuel, tant qu'il se trouvera des marches comme la premiere. Pl. 11, fig. 49, n° 3.

## *REMARQUES.*

AFIN que les supports ou jambes & bras de la petite figure se présentent convenablement pour

la ſoutenir à meſure qu'elle tourne, il faut quelques attentions particulieres.

1° Il eſt néceſſaire, que les grands ſupports ou jambes, lorſqu'elles ſont arrivées au point ou la figure, après s'être renverſée, repoſe ſur elles, il faut, dis-je, qu'elles rencontrent un arrêt qui ne leur permette pas de tourner davantage, ou à la figure de tourner; ce qui ſe fait au moyen de deux petites chevilles qui rencontrent une prolongation des cuiſſes.

2° Il faut que, tandis que la figure ſe releve ſur ſes jambes, les bras faſſent ſur leur eſſieu une demi-révolution, pour ſe préſenter perpendiculairement à l'horizon & d'une maniere ferme, lorſque la figure eſt renverſée en arriere. On y parvient, en garniſſant les bras de la figure de deux petites poulies concentriques à l'axe du mouvement de ces bras, à l'entour deſquelles s'enroulent deux filets de ſoie qui ſe réuniſſent ſous le ventre de la figure, & vont s'attacher à une petite traverſe qui joint les cuiſſes vers leur milieu; ce qui contribue à leur ſtabilité. On allonge ou l'on raccourcit ces filets, juſqu'à ce que cette demi-révolution des bras s'accompliſſe exactement, & que la figure poſée ſur les quatre ſupports, la face en haut ou en bas, ne vacille point; ce qu'elle feroit ſi ces ſupports n'étoient pas liés enſemble de cette maniere, & ſi les grands ne rencontroient pas un arrêt qui les empêche de s'incliner davantage.

On trouve de ces petites figures à Paris, chez les tablettiers, & autres marchands qui débitent des bijoux d'étrennes, & en particulier au *ſinge verd*, rue des Arcis.

## PROBLÊME XLVII.

*Diſpoſer trois bâtons ſur un plan horizontal, de ſorte que chacun s'appuie ſur ce plan par l'une de ſes extrémités, & que les trois autres ſe ſoutiennent mutuellement en l'air.*

CECI n'eſt qu'un petit jeu de mécanique, mais qu'on ſeroit peut-être étonné de ne pas trouver ici.

Prenez le premier bâton AB, & appuyez le bout A ſur la table, en tenant l'autre élevé, le bâton étant incliné à angle fort aigu; appliquez deſſus le ſecond bâton CD, enſorte que le bout C ſoit celui qui poſe ſur la table; enfin diſpoſez le bâton EF, enſorte qu'il poſe par ſon bout E ſur la table, qu'il paſſe au deſſous du bâton AB du côté du bout élevé B, & s'appuie ſur le bâton CD: ces trois bâtons ſe trouveront par-là engagés de telle maniere que leurs bouts D, B, F, reſteront néceſſairement en l'air, en ſe ſupportant circulairement les uns les autres. Pl. 11, fig. 50.

## PROBLÊME XLVIII.

*Conſtruire un tonneau contenant trois liqueurs, qu'on pourra tirer à volonté par la même broche, ſans ſe mêler.*

IL faut que le tonneau ſoit diviſé en trois parties ou cellules A, B, C, qui contiennent les trois liqueurs différentes, par exemple, du vin rouge, du vin blanc, & de l'eau, que l'on fera entrer chacun dans ſa cellule par le même bondon, en cette ſorte. Fig. 51.

En conſtruiſant le tonneau, on aura ajuſté dans

le bondon un entonnoir D, avec trois tuyaux E, F, G, qui aboutiſſent chacun à ſa cellule; ajoutez à cet entonnoir un autre entonnoir H, percé de trois trous qui puiſſent répondre, quand on voudra, aux ouvertures de chaque tuyau. Si l'on fait répondre, en tournant l'entonnoir H, chaque trou ſucceſſivement à l'ouverture de ſon tuyau correſpondant, la liqueur que l'on verſera dans l'entonnoir H, entrera dans ce tuyau. De cette maniere on remplira chaque cellule de ſa liqueur, ſans que l'une ſe puiſſe mêler avec l'autre, parceque quand un tuyau eſt ouvert, les deux autres ſe trouvent bouchés.

Mais, pour tirer auſſi ſans confuſion chaque liqueur par le bas du tonneau, il doit y avoir trois tuyaux K, L, M, qui répondent chacun à une cellule, & une eſpece de robinet IN, percé de trois trous, qui doivent répondre chacun à ſon tuyau, afin qu'en tournant la broche I, juſqu'à ce que l'un de ces trous réponde vis-à-vis d'un tuyau, la liqueur de la cellule par où paſſe ce tuyau, ſorte toute ſeule par le même tuyau.

## PROBLÊME XLIX.

*Percer une planche avec un corps mou, comme un bout de chandelle.*

VOUS n'avez qu'à charger un fuſil avec de la poudre, &, au lieu de balle, y mettre un bout de chandelle; tirez enſuite contre une planche qui ne ſoit pas bien épaiſſe, & vous verrez que la planche ſera percée par le bout de chandelle, comme par une balle de plomb.

La cauſe de ce phénomene eſt, ſans doute, que la rapidité du mouvement imprimé au bout de

chandelle, ne lui donne pas le temps de s'applatir, & alors il agit tout comme un corps dur. C'eſt un effet de l'inertie des parties de la matiere, qu'il eſt aiſé d'éprouver. Rien n'eſt plus facile à diviſer que l'eau. Cependant, ſi l'on frappe de la paume de la main contre la ſurface de l'eau avec quelque viteſſe, on en éprouve une réſiſtance conſidérable, & même de la douleur, comme ſi l'on frappoit contre un corps dur. Il y a plus : une balle de fuſil, tirée contre l'eau, en eſt repouſſée, & même s'y applatit. Si le fuſil eſt tiré avec une certaine obliquité, la balle en eſt réfléchie, & eſt capable, après cette réflexion, de tuer quelqu'un qui ſeroit ſur ſon chemin. Cela vient de ce qu'il faut un certain temps pour imprimer à un corps quelconque un mouvement ſenſible. Donc, lorſqu'un corps, ſe mouvant avec une grande rapidité, en rencontre un autre dont la maſſe eſt un peu conſidérable à l'égard de la ſienne, il en éprouve une réſiſtance preſque comme ſi cet autre étoit fixe.

## PROBLÊME L.

*Rompre avec un bâton un autre bâton poſé ſur deux verres, ſans les caſſer.*

NOUS ne donnons ici ce problême & ſa ſolution, que parcequ'on le trouve dans toutes les éditions des *Récréations Mathématiques;* mais, à dire vrai, nous croyons que ſi on en fait l'eſſai, on fera bien de ſe munir de verres. Quoi qu'il en ſoit, voici la ſolution vraie ou prétendue du problême.

Il ne faut pas que le bâton qu'on veut rompre ſoit trop gros, ni qu'il appuie beaucoup ſur les deux verres. Ses deux extrémités doivent être

amenuiſées en pointe ; & il doit être également gros dans toute ſa longueur ; autant qu'il ſera poſſible, afin que l'on puiſſe plus facilement connoître ſon centre de gravité, qui dans ce cas ſera au milieu.

Le bâton étant ſuppoſé tel qu'on vient de le demander, on mettra ſes deux extrémités ſur les bords des deux verres, dont l'un ne doit pas être plus élevé que l'autre, afin que le bâton ne penche pas plus d'un côté que d'autre. On fera enſorte que la ſeule extrémité de chaque pointe porte légérement ſur le bord de chaque verre. Alors, avec un autre bâton, on donnera ſur le milieu du bâton un coup ſec & prompt, mais cependant proportionné, autant qu'on le pourra juger, à la groſſeur du bâton & à la diſtance des verres ; ce qui briſera le bâton en deux, ſans qu'aucun des verres ſoit caſſé.

*REMARQUE.*

NOUS ſommes bien éloignés, & on doit le voir, de regarder ceci comme quelque choſe de sûr ; nous croyons qu'on caſſera bien des verres avant de caſſer le bâton. Il y a néanmoins une raiſon phyſique qui rend le ſuccès poſſible ; & c'eſt la même que celle qui fait qu'une girouette ou une porte mobile ſur ſes gonds eſt percée d'un coup de fuſil. En effet, le bâton étant frappé dans ſon milieu d'un coup vif & ſec, ne peut, à cauſe de ſa maſſe, prendre auſſi-tôt le mouvement néceſſaire pour ceder à l'impétuoſité du coup ; il eſt comme retenu fermement par ſes extrémités, dans lequel cas il ſe romproit aſſurément. Au reſte, nous le répétons, nous ne conſeillons pas de faire cette expérience avant d'être approviſionné de verres.

On pourroit cependant la tenter d'une maniere

moins diſpendieuſe, ſçavoir, en faiſant porter les deux extrémités du bâton à rompre ſur deux petits bâtons fort menus, & plantés perpendiculairement ſur un banc. Peut-être pourra-t-on, après s'être exercé de cette maniere, faire l'expérience avec l'apparence de merveilleux qu'y donne l'appui du bâton ſur les deux verres.

## PROBLÊME LI.

*Principes pour juger de l'effet poſſible d'une machine.*

Il eſt ordinaire aux charlatans, ou à des perſonnes qui n'ont pas une connoiſſance ſuffiſante de la mécanique, d'attribuer à des machines des effets prodigieux, & fort au deſſus de ceux que comporte la ſaine phyſique. Ainſi, il n'eſt pas inutile d'expoſer ici le principe qui doit guider pour porter un jugement ſain & raiſonnable de toute machine propoſée.

Quelle que ſoit la compoſition d'une machine, en ſuppoſant même qu'elle fût mathématiquement parfaite, c'eſt-à-dire immatérielle & ſans frottement; ſon effet, c'eſt-à-dire le poids mis en mouvement, multiplié par la hauteur perpendiculaire à laquelle il ſera élevé dans un temps déterminé, ne ſçauroit excéder le produit de la puiſſance motrice multipliée par le chemin qu'elle parcourt dans le même temps; &, conſéquemment, puiſque toute machine eſt matérielle, & qu'il eſt impoſſible d'y éviter totalement les frottements, ce qui abſorbera néceſſairement une portion de la puiſſance, il eſt évident que le premier produit ſera toujours moindre que le ſecond. Appliquons ceci à un exemple.

Quelqu'un propoſe une machine qui, par la ſeule force d'un homme appliqué à une manivelle ou aux bras d'un cabeſtan, doit élever en une heure 50 muids d'eau à la hauteur de 24 pieds; vous pouvez lui dire qu'il eſt un charlatan ou un ignorant.

Car la force d'un homme appliqué à une manivelle, ou à traîner ou pouſſer un poids quelconque, n'eſt que d'environ 27 livres, ou même 25, avec une viteſſe tout au plus de 1800 toiſes par heure; encore ne pourroit-il travailler ainſi plus de 7 ou 8 heures de ſuite. Ainſi le produit de 1800 par 27 étant 48600, on diviſera ce produit par 4, nombre des toiſes auxquelles l'eau doit être élevée: le quotient ſera 12150 livres d'eau, ou 172 pieds cubes, ou 21 muids, à la hauteur de 24 pieds; ce qui fait environ $\frac{1}{6}$ de muid par minute, à la hauteur de 10 pieds: ce ſeroit là tout ce que pourroit produire cette puiſſance dans le cas le plus favorable. Mais plus la machine ſera compoſée, plus il y aura de réſiſtances à ſurmonter en pure perte, enſorte que ſon produit n'égalera pas, même à beaucoup près, le produit ci-deſſus.

Dans une machine où un homme agiroit par ſon propre poids & en marchant, on ne trouveroit pas un beaucoup plus grand avantage; car tout ce que pourroit faire un homme marchant ſans autre poids que celui de ſon corps, ſur un plan incliné de 30°, ſeroit de parcourir 1000 toiſes par heure, ſur-tout s'il avoit à marcher ainſi pendant 7 à 8 heures. Mais c'eſt ici la hauteur perpendiculaire qu'il faut conſidérer uniquement, & elle ſe trouve de 500 toiſes: le produit de 500 par 150 livres, qui eſt le poids moyen d'un homme, eſt 75000. Ainſi le plus grand produit

d'une pareille machine eſt 75000 livres élevées à la hauteur d'une toiſe, ou 17500 à la hauteur de 4 toiſes, ou un muids un quart par minute, à la hauteur de 10 pieds. En prenant entre cette détermination & la précédente une moyenne arithmétique, on trouvera que le produit moyen poſſible de la force d'un homme employé à mettre en mouvement une machine hydraulique, eſt tout au plus d'un muid par minute, ſur-tout ſi l'ouvrage doit durer pendant 7 à 8 heures dans la journée.

Il eſt vrai que ſi la puiſſance ne devoit agir que pendant fort peu de temps, comme 3, 4 ou 5 minutes, le produit pourroit paroître plus conſidérable & environ du double. C'eſt-là un des artifices employés par les machiniſtes pour prouver la ſupériorité de leurs machines. Ils la font mettre en mouvement pendant quelques minutes, par des gens vigoureux qui font un effort momentané, & font paroître le produit beaucoup plus grand qu'il ne ſeroit réellement.

La détermination ci-deſſus cadre aſſez bien avec celle que M. Deſaguliers a donnée dans ſes Leçons de Phyſique; car il y dit s'être aſſuré par le calcul, que l'effet des machines les plus parfaites & les plus ſimples, miſes en mouvement par des hommes, ne donnent pas, à raiſon de chaque homme, plus d'un muid d'eau par minute, à la hauteur de 10 pieds.

Un élément fort eſſentiel pour les machines qui doivent être mues par des chevaux, eſt le ſuivant. Un cheval équivaut à environ ſept hommes, ou peut faire dans l'horizontale un effort de 175 livres, en ſe mouvant avec une viteſſe de 15 à 1800 toiſes par heure, en ſuppoſant qu'il doive travailler 8 à 10 heures par jour. M. Deſaguliers trouve même

moins, & penſe qu'on doit ſeulement quintupler la force de l'homme pour avoir celle du cheval.

Lorſqu'on poſſédera ces principes, on ne courra point le riſque d'être trompé par des machiniſtes ignorants ou charlatans; & c'eſt un grand avantage que d'être à portée de ne pas être la dupe de cette eſpece d'hommes qui n'en veulent ſouvent qu'à la bourſe de ceux qui auront la ſimplicité de les écouter.

## PROBLÊME LII.

### *Du Mouvement Perpétuel.*

Le mouvement perpétuel eſt l'écueil de la mécanique, comme la quadrature du cercle, la triſection de l'angle, &c. ſont ceux de la géométrie: &, tout comme ceux qui prétendent avoir trouvé la ſolution de ces derniers problêmes ſont ordinairement des gens à peine initiés dans la géométrie, de même ceux qui cherchent ou croient avoir trouvé le mouvement perpétuel ſont preſque toujours des hommes à qui les vérités les plus conſtantes de la mécanique ſont inconnues.

En effet, on peut démontrer, pour tous ceux qui ſont capables de raiſonner ſainement ſur ces matieres, que le mouvement perpétuel eſt impoſſible; car, pour qu'il fût poſſible, il faudroit que l'effet devînt alternativement la cauſe & la cauſe l'effet. Il faudroit, par exemple, qu'un poids élevé à une certaine hauteur par un autre poids, élevât à ſon tour cet autre poids à la hauteur dont il étoit deſcendu. Mais, ſelon les loix du mouvement, & dans une machine la plus parfaite que l'eſprit puiſſe concevoir, tout ce que peut faire un poids deſcendant, ſeroit d'en élever un autre dans

le même temps, à une hauteur réciproquement proportionnelle à ſa maſſe. Or il eſt impoſſible que, dans une machine quelle qu'elle ſoit, il n'y ait ni frottement, ni réſiſtance du milieu à éprouver : ainſi il y aura toujours, à chaque alternative de montée & de deſcente des poids qui agiſſent alternativement, une portion ſi petite qu'on voudra, du mouvement, qui ſera perdue : ainſi, à chaque fois, le poids élevé montera moins haut, le mouvement ſe rallentira, & enfin ceſſera.

On a cherché, mais infructueuſement, des remontoirs dans l'aimant, dans la peſanteur de l'air, dans le reſſort des corps, mais ſans ſuccès. Si un aimant eſt diſpoſé de maniere à faciliter l'aſcenſion d'un poids, il nuira enſuite à ſa deſcente. Les reſſorts, après s'être débandés, ont beſoin d'être tendus de nouveau par une force égale à celle qu'ils ont exercée. Le poids de l'athmoſphere, après avoir entraîné un côté de la machine au plus bas, a beſoin d'être remonté lui-même comme un poids quelconque, pour agir de nouveau.

Nous croyons pourtant à propos de faire connoître quelques tentatives de mouvement perpétuel, parce qu'elles peuvent donner une idée de l'illuſion que ſe ſont faite quelques perſonnes ſur ce ſujet.

La *fig.* 52 repréſente une roue garnie, à diſtances égales dans ſa circonférence, de leviers portants chacun à ſon extrémité un poids, & qui ſont mobiles ſur une charniere, de ſorte que dans un ſens ils puiſſent ſe coucher ſur la circonférence, & du côté oppoſé, étant entraînés par le poids qui eſt à leur extrémité, ils ſoient contraints à ſe ranger dans la direction du rayon prolongé. Cela ſuppoſé, on voit que la roue tournant dans le Pl. 12, fig. 52.

ſens *a b c*, les poids A, B, C, s'écarteront du centre; & conſéquemment, agiſſant avec plus de force, entraîneront la roue de ce côté: & comme, à meſure qu'elle ſe mouvera, un nouveau levier ſe développera, il s'enſuit, diſoit-on, que la roue continuera ſans ceſſe de marcher dans le même ſens. Mais, malgré l'apparence ſéduiſante de ce raiſonnement, l'expérience a montré que la machine ne marchoit pas; & l'on peut en effet démontrer qu'il y a une poſition où, le centre de gravité de tous ces poids étant dans la verticale menée par le point de ſuſpenſion, elle doit s'arrêter.

Il en eſt de même de celle-ci, qui ſembleroit auſſi devoir marcher ſans ceſſe. Dans un tympan cylindrique & parfaitement en équilibre ſur ſon
Pl. 12, fig. 53. axe, on a creuſé des canaux, comme on le voit dans la *fig. 53*, qui contiennent des balles de plomb, ou, ſi l'on veut, du vif-argent. Par une ſuite de cette diſpoſition, ces balles ou ce vif-argent doivent, d'un côté, monter en ſe rapprochant du centre, & de l'autre côté, au contraire, elles roulent à la circonférence. La machine doit donc tourner ſans ceſſe de ce côté-là.

Fig. 54. En voici une troiſieme. Soit une eſpece de roue, formée de ſix ou huit bras partants d'un centre où eſt l'axe du mouvement. Chacun de ces bras eſt garni de deux réceptacles en forme de ſoufflet, & en ſens oppoſé, comme on voit dans la *fig. 54*. Le couvercle mobile de chacun eſt garni d'un poids propre à le fermer dans une ſituation & à l'ouvrir dans l'autre. Enfin les deux ſoufflets d'un même bras communiquent par un canal, & l'un d'eux eſt rempli de vif-argent.

Cela ſuppoſé, on voit que d'un côté, par exemple A, les ſoufflets les plus éloignés du centre doivent

vent s'ouvrir, & les plus proches ſe fermer ; d'où doit réſulter le paſſage du mercure des derniers dans les premiers, tandis que le contraire ſe paſſera du côté oppoſé. La machine doit donc tourner continuellement du même côté.

Il ſeroit aſſez difficile de montrer en quoi péche ce raiſonnement ; mais quiconque connoîtra les vrais principes de la mécanique, n'héſitera pas à parier cent contre un que la machine, étant exécutée, ne marchera pas.

On voit dans le Journal des Sçavants, de l'année 1685, la deſcription d'un mouvement perpétuel prétendu, où l'on employoit à peu près ainſi le jeu d'un ſoufflet qui devoit alternativement ſe remplir & ſe vuider de mercure. Il fut réfuté par M. Bernoulli & quelques autres, & occaſionna une aſſez longue querelle. La meilleure maniere dont ſon auteur eût pu défendre ſon invention, étoit de l'exécuter, & de la faire voir en mouvement ; mais c'eſt ce qu'il ne fit point.

Remarquons néanmoins un trait aſſez curieux à cet égard. Un M. Orfyreus annonça en 1717, à Leipſick, un mouvement perpétuel ; c'étoit une roue qui devoit toujours tourner. Il l'exécuta pour le Landgrave de Heſſe-Caſſel, qui la fit renfermer dans un lieu sûr, & appoſa ſon ſceau ſur l'entrée. Après 40 jours, on y rentra, & on la trouva en mouvement. Mais cela ne prouve rien pour le mouvement perpétuel. Puiſque l'on fait fort bien une pendule qui peut marcher un an ſans être remontée, la roue de M. Orfyreus pouvoit bien aller 40 jours & plus. On ne voit pas la ſuite de cette prétendue découverte : un journal nous apprend, qu'un Anglois offrit 80000 écus à M. Orfyreus pour avoir ſa machine ; mais M. Or-

fyreus refuſa de la donner à ce prix, en quoi il eut sûrement grand tort, car il n'a rien eu, ni argent, ni l'honneur d'avoir trouvé le mouvement perpétuel.

L'Académie de Peinture à Paris a une pendule qui n'a pas beſoin d'être remontée, & qu'on pourroit regarder comme un mouvement perpétuel; mais ce n'en eſt point un. Expliquons-nous. L'auteur ingénieux de cette pendule s'eſt ſervi des variations de l'état de l'athmoſphere pour remonter ſon poids moteur. Or on peut imaginer à cet effet divers artifices; mais ce n'eſt pas plus le mouvement perpétuel, qu'une machine où le flux & reflux de la mer ſeroit employé à la faire aller continuellement, car ce principe de mouvement eſt extérieur à la machine, & n'en fait pas partie.

Mais en voilà aſſez ſur cette chimere de la mécanique. Nous ſouhaitons qu'aucun de nos lecteurs ne donne dans le travers ridicule & malheureux d'une pareille recherche.

Il eſt au reſte faux qu'il y ait aucune récompenſe promiſe par les Puiſſances, pour qui trouveroit le mouvement perpétuel, non plus que pour la quadrature du cercle. C'eſt-là ſans doute ce qui encourage tant de gens à chercher la ſolution de ces problêmes; & il eſt à propos qu'ils en ſoient déſabuſés.

## PROBLÊME LIII.

*Juger de la hauteur de la voûte d'une égliſe, par les vibrations des lampes qui y ſont ſuſpendues.*

CETTE invention eſt, à ce que j'ai lu quelque part, de Galilée, qui le premier reconnut le rapport des durées des oſcillations des pendules de

différente longueur. Il faut, au reſte, pour que cette méthode ſoit d'une certaine exactitude, que le poids de la lampe ſoit pluſieurs fois plus conſidérable que celui de la corde qui la ſoutient.

Cela ſuppoſé, mettez la lampe en mouvement, en l'écartant fort peu de la perpendiculaire, ou obſervez celui que le mouvement de l'air lui aura communiqué, ce qui eſt aſſez ordinaire; avec une montre à ſecondes, examinez combien une vibration dure de ſecondes; ou, ſi vous n'avez point de montres à ſecondes, comptez le nombre des vibrations qui ſe font dans un certain nombre de minutes préciſes: ce qui donnera avec d'autant plus d'exactitude la durée de chaque vibration, que ce nombre de minutes ſera plus conſidérable; car il n'y aura qu'à le diviſer par celui des vibrations, & le quotient donnera les ſecondes de la durée de chacune.

Je ſuppoſe que, par l'un ou l'autre de ces moyens, vous ayiez trouvé que chaque vibration duroit 5 ſecondes & demie; faites le quarré de $5\frac{1}{2}$, qui eſt $30\frac{1}{4}$; multipliez par ce nombre celui de 3 pieds 8 lignes $\frac{1}{2}$, qui eſt la longueur du pendule qui bat la ſeconde juſte dans ce pays-ci: le produit ſera 92 pieds, 6 pouces, 5 lignes: ce ſera, à peu de choſe près, la hauteur du point de ſuſpenſion au deſſus du cul-de-lampe. Prenant donc la diſtance de la baſe de ce cul-de-lampe juſqu'au pavé, ce qui peut ſe faire ordinairement avec un bâton, & ajoutant cette diſtance à la hauteur déja trouvée, vous aurez celle de la voûte au deſſus du pavé.

Cette ſolution eſt fondée ſur une propriété des pendules qu'on démontre en mécanique, ſçavoir, que les quarrés des durées des vibrations ſont

comme les longueurs ; enſorte qu'un pendule quadruple en longueur fait des vibrations qui durent deux fois autant.

Mais nous avouons, qu'à cauſe de la forme irréguliere de la lampe, & du poids du cordon qui la ſoutient, cette méthode eſt plus curieuſe qu'exacte. Auſſi nous ſommes-nous ſervi du mot *juger*, au lieu de celui de *meſurer*, qui préſente avec ſoi l'idée de l'exactitude.

Voici néanmoins un autre problême du même genre.

## PROBLÊME LIV.

*Meſurer la profondeur d'un puits par le temps écoulé entre le commencement de la chute d'un corps, & celui où l'on entend le bruit de ſon arrivée à la ſurface de l'eau.*

IL faut avoir un petit pendule à demi-ſecondes, c'eſt-à-dire ayant entre le centre de la balle & le point de ſuſpenſion, 9 pouces, 2 lignes $\frac{1}{8}$.

Il faut auſſi ſe ſervir d'un poids d'une matiere la plus peſante qu'il ſe pourra, comme d'une balle de plomb. Une ſimple pierre ou caillou éprouve un retardement aſſez conſidérable, & y ſeroit moins propre.

Vous lâcherez donc le poids en même temps que la balle du pendule, & vous compterez le nombre de ſes vibrations, juſqu'au moment où vous entendrez le ſon du poids arrivé à la ſurface de l'eau ; je ſuppoſe qu'il y ait onze vibrations, qui font 5 ſecondes $\frac{1}{2}$.

Cela fait, multipliez d'abord 15 par $5\frac{1}{2}$, nombre des ſecondes obſervé ; diviſez le produit par 75 : ce qui vous donnera pour premier produit $\frac{11}{10}$,

à quoi vous ajouterez encore $7\frac{1}{2}$ ou $\frac{75}{10}$ ; vous aurez $\frac{86}{10}$ ou $8\frac{6}{10}$.

Diviſez enſuite quatre fois le nombre des ſecondes obſervé par 75 , & ajoutez le quotient à l'unité, ce qui donnera ici pour ſomme $\frac{97}{75}$, ou, en fractions décimales, 1.296333 : vous en extrairez la racine quarrée ; elle eſt 1.137, qu'il faut multiplier par $7\frac{1}{2}$, ce qui donne pour troiſieme produit 8.527 ; de la premiere ſomme trouvée ci-deſſus, 8.600, ôtez le dernier produit 8.527 , le reſtant eſt 0.073 , que vous multiplierez enfin par le quarré de 75 ou 5625 : ce dernier produit ſera 354 pieds $\frac{375}{1000}$.

Cette regle, que nous avouons être aſſez compliquée, eſt fondée ſur la propriété de la chute des graves, qui s'accélere en raiſon des temps, enſorte que les eſpaces parcourus croiſſent comme les quarrés des temps. On a fait au ſurplus abſtraction de la réſiſtance de l'air, qui ne laiſſe pas, dans des hauteurs conſidérables, comme de quelques centaines de pieds, de retarder ſenſiblement la chute ; enſorte qu'il en eſt de ce problême à peu près comme du précédent, c'eſt-à-dire que la ſolution eſt plus curieuſe qu'utile.

# HISTOIRE

## *De quelques Ouvrages de Mécanique extraordinaires & célebres.*

IL paroîtroit manquer à cet ouvrage une partie eſſentielle, ſi nous négligions d'y faire l'hiſtoire & de donner une idée de diverſes machines célebres, tant parmi les anciens que parmi les modernes. Nous allons, dans cette vue, jeter un coup d'œil rapide ſur ce que le génie mécanique a enfanté en divers ſiecles de plus rare & de plus ſingulier.

### §. I. *Des Machines ou Automates d'Architas, d'Archimede, de Héron & Ctéſibius.*

L'hiſtoire ancienne nous parle avec admiration de quelques machines de ce genre. Tels furent les trépieds automates de Vulcain; la colombe d'Architas, qui, dit-on, voloit comme un véritable animal. Nous ne doutons cependant pas que la crédulité & l'éloignement des ſiecles n'aient beaucoup groſſi le merveilleux de ces machines, ſi tant eſt qu'elles aient eu quelque réalité. Il y en a davantage dans la ſphere mouvante d'Archimede. Tout le monde ſçait que ce mathématicien célebre y avoit repréſenté les mouvements céleſtes, tels qu'on les concevoit alors; ce qui étoit aſſurément un chef-d'œuvre de mécanique pour ce temps éloigné. Les fameux vers de Claudien ſur cette machine, ſont connus de tout le monde.

Héron & Ctéſibius d'Alexandrie, exécuterent auſſi diverſes machines ſingulieres. On peut voir quelques-unes de celles inventées par Héron, dans ſon livre intitulé *Spiritalia*. Il y en a qui ſont très-ingénieuſes, & qui font honneur à ce mécanicien.

## §. II. *Des Machines attribuées à Albert le Grand, à Régiomontanus, &c.*

L'ignorance qui couvrit de ſes ténebres toute l'Europe, depuis le ſixieme ou ſeptieme ſiecle juſqu'au quinzieme, n'étouffa pas entiérement le génie mécanique. On raconte que les ambaſſadeurs envoyés à Charlemagne par le roi de Perſe, lui apporterent en préſent une machine dont la deſcription feroit encore quelque honneur à nos mécaniciens modernes; car c'étoit une horloge à ſonnerie, dont les figures exécutoient divers mouvements. Il eſt vrai que tandis que l'Europe étoit plongée dans l'ignorance, les arts & les ſciences jetoient quelqu'éclat parmi les peuples Orientaux. Quant aux Occidentaux, ſi l'on peut croire ce que l'on rapporte d'Albert le Grand, qui vivoit dans le treizieme ſiecle, ce mathématicien avoit fabriqué un automate de figure humaine, qui, lorſqu'on frappoit à la porte de ſa cellule, alloit l'ouvrir, & pouſſoit quelques ſons, comme pour parler à celui qui entroit. Dans un temps poſtérieur de quelques ſiecles, Régiomontanus, ou Jean Muller de Konigsberg, aſtronome célebre, avoit fait un automate de la figure d'une mouche, qui ſe promenoit autour d'une table. Mais ce ſont probablement des récits fort défigurés par l'ignorance & la crédulité. Voici des traits d'habileté en mécanique, qui ſont plus réels.

## §. III. *De diverſes Horloges célebres.*

Dans le quatorzieme ſiecle, Jacques de Dondis fabriqua pour la ville de Padoue, une horloge qui fut long-temps réputée la merveille de ſon ſiecle. Elle marquoit, outre les heures, les mouvements du ſoleil, de la lune & des planetes, ainſi que les fêtes de l'année. Il en retint le ſurnom d'*Horologio*, qui devint celui de ſa poſtérité. Peu de temps après, Guillaume Zélandin en fit une encore plus compoſée pour la ville de Pavie, qui fut rétablie dans le ſeizieme ſiecle par Janellus Turrianus, mécanicien de Charles-Quint. Mais les plus célebres ouvrages dans ce genre, ce ſont les horloges des cathédrales de Strasbourg & de Lyon.

L'horloge de Strasbourg eut pour auteur Conrad Daſypodius, mathématicien de cette ville, qui vivoit ſur la fin du ſeizieme ſiecle, & qui l'acheva vers l'an 1573. On la répute la premiere de l'Europe. Il n'y a du moins que celle de Lyon qui puiſſe lui diſputer la prééminence, ou lui être comparée par la multitude de ſes effets.

La face du ſoubaſſement de l'horloge de Strasbourg préſente trois tableaux; l'un rond, & formé de pluſieurs cercles concentriques, dont les deux extérieurs font ou faiſoient leurs révolutions en un an, & ſervoient à marquer les jours de l'année, les fêtes, & les autres circonſtances du calendrier: les deux tableaux latéraux ſont quarrés, & ſervoient à indiquer les éclipſes, tant de ſoleil que de lune.

Au deſſus du tableau du milieu, & dans l'eſpece d'attique de ce ſoubaſſement, les jours de la ſemaine ſont marqués par les différentes divinités qui ſont cenſées préſider aux planetes dont ils

tirent leur dénomination vulgaire. La divinité du jour courant y paroît portée dans un char roulant ſur des nuages, & à minuit fait place à celle qui doit la ſuivre.

Au devant du ſoubaſſement, on voit encore un globe porté ſur les ailes d'un pélican, autour duquel rouloient autrefois un ſoleil & une lune, qui par-là marquoient les mouvements de ces planetes; mais cette partie de la machine, ainſi que pluſieurs autres, ne marche plus depuis long-temps.

La tour décorée qui eſt au deſſus de ce ſoubaſſement, préſente principalement un grand cadran en aſtrolabe, qui montre le mouvement annuel du ſoleil & de la lune ſur l'écliptique, les heures de la journée, &c. On voit auſſi au deſſus les phaſes de la lune marquées par un cadran particulier.

Cet ouvrage eſt encore remarquable par un jeu conſidérable de ſonnerie, & de figures qui exécutent divers mouvements. On voit, par exemple, au deſſus du cadran dont on vient de parler, les quatre âges de l'homme, repréſentés par des figures ſymboliques; à chaque quart d'heure, en paſſe une qui marque le quart en frappant ſur de petites cloches: elles ſont ſuivies de la Mort, chaſſée par un Chriſt reſſuſcité, qui lui permet néanmoins de ſonner l'heure, comme pour avertir l'homme que le temps s'écoule. Deux petits anges exécutent auſſi des mouvements, l'un frappant un timbre avec un ſceptre, l'autre tournant un ſablier à l'expiration de l'heure.

Cet ouvrage enfin étoit décoré de divers animaux, qui rendoient des ſons analogues à leurs voix naturelles; mais il n'y a plus aujourd'hui que le coq, dont le chant devance la ſonnerie de l'heure; il allonge le cou & bat des ailes avant

que de chanter. Au reſte, ſa voix eſt devenue ſi enrouée, que celui de Lyon, quoiqu'il le ſoit auſſi beaucoup, a preſque une voix harmonieuſe en comparaiſon de celui-ci. Il eſt fâcheux qu'une grande partie de cette machine ſoit entiérement dérangée. Il ſeroit, ce ſemble, de la dignité de l'illuſtre chapitre métropolitain de Strasbourg, de la faire rétablir. J'ai à la vérité ouï dire qu'on l'a tenté, mais que perſonne n'a pu en venir à bout.

L'horloge de la cathédrale de Lyon n'eſt pas d'un volume auſſi conſidérable que celle de Strasbourg, mais elle ne lui cede guere par la variété de ſes mouvements, & elle a de plus l'avantage d'être encore en bon état. Elle eſt l'ouvrage de Lippius de Baſle, & elle fut fort bien raccommodée dans le ſiecle dernier, par un habile horloger de Lyon, nommé *Nourriſſon*. On y voit, comme dans celle de Strasbourg, ſur différents cadrans, la marche annuelle & diurne du ſoleil & de la lune, les jours de l'année, leur longueur, & tout le calendrier tant civil qu'eccléſiaſtique. Les jours de la ſemaine y ſont marqués par des ſymboles plus analogues au lieu où l'horloge eſt placée; l'heure y eſt annoncée par le chant d'un coq, répété trois fois, après un battement d'ailes & divers mouvements; ce chant fini, paroiſſent des anges qui exécutent, en frappant ſur divers timbres, l'air de l'hymne *Ut queant laxis;* l'Annonciation de la Vierge y eſt auſſi repréſentée par des figures mouvantes, & par la deſcente d'une colombe à travers des nuages. Après tout ce jeu mécanique, l'heure ſonne. On remarque ſur un des côtés de l'horloge un cadran ovale, ſervant à montrer les heures & les minutes. Celles-ci ſont indiquées par une aiguille qui s'allonge ou

ſe contracte, ſelon la longueur du demi-diametre de l'ovale qu'elle couvre.

On peut au reſte, ſans aller ni à Lyon ni à Strasbourg, ſe former une idée de ces horloges, par celle qu'on voit au château de Verſailles dans les appartements du Roi. Celle-ci fut l'ouvrage de Martinot, horloger célebre du ſiecle dernier. Avant que l'heure ſonne, deux coqs, portés ſur les encoignures d'un petit corps d'architecture, chantent alternativement en battant des ailes; peu après s'ouvrent deux portes latérales de cet édifice, auxquelles ſe préſentent deux figures portant des cymbales, ſur leſquelles frappent des eſpeces de gardes armés de maſſues. Ces figures étant retirées, la porte du milieu s'ouvre, & laiſſe ſortir un piédeſtal ſurmonté de la figure équeſtre de Louis XIV; & en même temps, un groupe de nuages (qui pourroient être mieux figurés) s'entrouvre, & donne paſſage à une Renommée qui plane ſur la figure. Alors commence une petite ſonnerie qui joue un air, après lequel les deux figures rentrent, & les deux gardes relevent leurs maſſues, qu'ils avoient baiſſées comme par reſpect en préſence du Roi. L'heure ſonne enfin. Au reſte, tout cela n'eſt preſque plus aujourd'hui qu'un jeu pour nos horlogers habiles. Nous ne laiſſerons cependant pas de parler encore dans ſon lieu, c'eſt-à-dire en traitant de l'aſtronomie, de quelques machines purement aſtronomiques, qui font honneur au génie inventif de leurs auteurs.

## §. IV. *Machines automates du pere Truchet, de M. Camus, & de M. de Vaucanſon.*

Vers la fin du ſiecle dernier, le pere Truchet, de l'académie royale des ſciences, fit, pour l'a-

muſement de Louis XIV, des tableaux mouvants, qui furent regardés comme des chefs-d'œuvre très-ſinguliers de mécanique. L'un de ces tableaux, que ce monarque appelloit ſon petit opéra, repréſentoit en effet un opéra en cinq actes, & changeoit de décoration au commencement de chacun. Les acteurs exécutoient leurs rôles en pantomimes. La piece pouvoit être repréſentée quatre fois de ſuite, ſans remonter la machine. On pouvoit l'arrêter où l'on vouloit : une détente lâchée pour cela, produiſoit cet effet, & une autre faiſoit recommencer la piece au point où elle avoit été interrompue. Ce tableau mouvant avoit ſeize pouces & demi de largeur, treize pouces quatre lignes de hauteur, ſur un pouce trois lignes d'épaiſſeur pour le jeu de la machine. On lit ces détails dans l'Eloge du pere Truchet, Mémoires de l'Académie, année 1729.

Une autre machine très-ingénieuſe, & à mon gré bien plus difficile à concevoir, eſt celle que décrit M. Camus, gentilhomme Lorrain, qui dit l'avoir exécutée pour l'amuſement du feu Roi, encore enfant. C'étoit un petit carroſſe attelé de ſes deux chevaux, avec ſon cocher ſur le ſiege, une dame dans la voiture, ſon laquais derriere, & un petit page couché ſur la ſoupente. Si nous en croyons ce qu'on lit dans l'ouvrage de M. Camus, on plaçoit ce carroſſe à l'extrémité d'une table de grandeur déterminée ; il partoit, le cocher donnant un coup de fouet à ſes chevaux, dont les jambes faiſoient tous les mouvements de celles des chevaux marchants. Arrivé au bord de la table, il tournoit à angle droit, en côtoyant ce bord. Lorſqu'il étoit arrivé devant la place du Roi, il s'arrêtoit ; le page deſcendoit, ouvroit la portiere, &

la dame ſortoit de la voiture un placet à la main, qu'elle préſentoit après une révérence. Après avoir attendu quelque temps, elle faiſoit une ſeconde révérence, rentroit dans la voiture, le page ſe replaçoit, le cocher donnoit un coup de fouet à ſes chevaux, qui ſe remettoient en mouvement; & le laquais, courant après la voiture, ſautoit à ſa place.

J'avoue qu'il ſeroit à ſouhaiter que M. Camus, au lieu de ſe borner à une légere indication du mécaniſme qu'il avoit employé pour ces effets, fût entré dans une explication plus détaillée; car, s'ils ſont vrais, il a fallu un artifice ſingulier pour le produire; & l'application de ces moyens à des machines plus utiles, peut trouver ſa place.

Nous avons vu, il y a vingt ou vingt-cinq ans, les trois machines de M. de Vaucanſon, ſon flûteur automate, ſon joueur de flûtet & de tambourin, & ſon canard artificiel. Le flûteur jouoit pluſieurs airs de flûte, avec une préciſion que le joueur animé le plus habile n'atteint peut-être pas. Il donnoit les coups de langue qui ſervent à diſtinguer les notes. C'eſt, au rapport de M. de Vaucanſon, ce qui lui coûta le plus à trouver. Les tons enfin étoient réellement produits dans la flûte par la poſition des doigts qu'ils exigent.

Le joueur de flûtet & de tambourin exécutoit auſſi ſur ce premier inſtrument pluſieurs airs, en frappant continuellement ſur le dernier.

Enfin le canard artificiel eſt ce qui, ſelon mes foibles lumieres, devoit le plus étonner par ſes mouvements; car on le voyoit étendre & allonger le cou, lever ſes ailes, & les nettoyer avec ſon bec: il prenoit dans un auge du grain qu'il avaloit, il buvoit à une autre; & enfin, après divers autres mouvements, il rendoit une matiere reſſemblante

à des excréments. Dans le temps où j'ai vu ces machines pour la premiere fois, je démêlai auſſitôt quelques-uns des artifices qu'on avoit pu employer pour les deux premieres ; mais j'avoue que ma pénétration a toujours reſté en défaut à l'égard de la derniere.

### §. V. *De la Machine de Marly.*

Les machines dont on vient de donner une idée, ſont, il faut en convenir, plus curieuſes en général qu'utiles. Il en eſt deux autres dont la célébrité, jointe à l'utilité, exige ici une place. Ce ſont la machine de Marly, & celle qu'on appelle *la Machine à feu.* Commençons par la premiere. Voici une idée ſommaire de ſa compoſition & de ſes effets.

La machine de Marly eſt compoſée de quatorze roues, d'environ 36 pieds de diametre chacune, qui reçoivent leur mouvement de l'eau de la riviere, retenue par une eſtacade, & reçue dans autant de courſiers ſéparés. Chaque roue porte aux extrémités de ſon eſſieu deux manivelles ; ce qui fait vingt-huit puiſſances, dont la diſtribution eſt celle-ci.

Il faut noter auparavant, que l'eau eſt portée en trois repriſes au lieu où elle doit être élevée, ſçavoir, d'abord, de la riviere à un réſervoir élevé de 150 pieds au deſſus du niveau de la Seine ; delà, à un ſecond réſervoir élevé de 325 pieds au deſſus de ce niveau ; enfin, de ce dernier, au ſommet d'une tour plus haute de 500 & quelques pieds que la riviere.

Des vingt-huit manivelles dont on a parlé ci-deſſus, il y en a huit qui ſont employées à faire agir ſoixante-quatre corps de pompe. Cela ſe fait

au moyen de balanciers qui portent à chaque extrémité de leurs bras quatre piſtons; ce qui fait huit à chaque balancier, qui aſpirent & refoulent alternativement. Ces ſoixante-quatre corps de pompe ſont employés à aſpirer l'eau, & à la refouler juſqu'au premier réſervoir, qui fournit l'eau au premier puiſard dont on va parler, & ſur lequel eſt établi le ſecond jeu de pompe.

Onze autres manivelles ſont employées à faire monter l'eau de ce premier puiſard juſqu'au ſecond réſervoir. Cela ſe fait au moyen de longs bras adaptés à ces manivelles, qui font mouvoir des équerres horizontales, à un des bras deſquelles ſont attachées des chaînes formées de barres de fer, qui s'étendent du bas de la montagne juſqu'au premier puiſard. Ces chaînes, qu'on nomme chevalets, ſont formées de barres de fer paralleles, dont les extrémités ſont liées par des boulons, & qui ſont portées de diſtance en diſtance par des pieces de bois tranſverſales, mobiles dans leur milieu ſur un eſſieu; enſorte que lorſqu'on tire, par exemple, la barre de fer ſupérieure par le bout d'en bas, toutes ces pieces de bois s'inclinent dans un ſens, & la barre inférieure rétrograde, & pouſſe en ſens contraire de la ſupérieure. Ces barres ou chaînes ſervent à mettre en mouvement les balanciers ou équerres qui font mouvoir les piſtons de quatre-vingts pompes aſpirantes & refoulantes, qui portent l'eau du premier puiſard au ſecond réſervoir.

Enfin neuf autres manivelles ſervent, par un mécaniſme ſemblable, à mettre en mouvement les chaînes appellées grands chevalets, qui font mouvoir les pompes du ſecond puiſard, & élevent l'eau de ce ſecond puiſard au ſommet de la tour. Ces pompes ſont au nombre de ſoixante-douze,

Tel eſt en peu de mots le mécaniſme de la machine de Marly. Son produit moyen eſt, à ce que j'ai ouï dire, de 150 ou 200 pouces d'eau continus; ce qui fait 450 à 600 muids d'eau par heure. Nous diſons le produit moyen, car il y a des temps où elle éleve juſqu'à près de 300 pouces, mais ce n'eſt que dans des circonſtances très-favorables. Il y a les temps de très-groſſes eaux, ceux des glaces, ceux des très-baſſes eaux, celui des réparations, pendant leſquels elle chomme en tout ou en partie. J'ai lu encore qu'en 1685 elle élevoit juſqu'à 1000 muids par heure; mais j'ai grande peine à le croire, ſi on entend par-là ſon produit moyen, car ce ſeroit 333 pouces continus.

Quoi qu'il en ſoit, voici un calcul qui eſt fondé ſur des détails dont j'ai eu communication. Les dépenſes annuelles de la machine, compris les appointements & gages des employés & ouvriers de toute eſpece, réparations aux bâtiments & à la machine, fournitures diverſes, &c. peuvent monter à environ 80000 liv.; ce ſont 220 liv. par jour; ce qui fait environ 5 deniers le muid. Mais ſi l'on fait entrer dans cette dépenſe l'intérêt de 8 millions (*a*) qu'elle a, dit-on, coûtés, on trouvera que ce muid revient aujourd'hui au Roi à 30 deniers, ou les 9 pintes & demie à un denier. Cela eſt fort éloigné du prix que le roi de Danemarck croyoit pouvoir mettre à cette eau; car ce prince, dans la viſite qu'il fit à la machine en 1769, étonné apparemment de ſa maſſe, de la multitude de ſes mouvements, & des ou-

(*a*) On dit 8 millions, & non 80 millions, comme on le lit dans Deſaguliers; car cela ſeroit abſurde.

vriers

vriers qui y ſont employés, dit que cette eau revenoit peut-être au même prix que le vin. On voit, par le calcul ci-deſſus, combien il s'en faut.

C'eſt une grande queſtion ſi la machine de Marly pourroit être ſimplifiée. Nous allons dire ſur cela ce que quelques expériences, & l'examen fait en détail de diverſes parties de cette machine, nous paroiſſent préſenter de plus probable.

On eſt d'abord, en général, ſurpris de ce que l'auteur de la machine a fait en quelque ſorte faire deux repos à l'eau pour l'amener au ſommet de la tour. Quelqu'un a dit en plaiſantant, que ſans doute il avoit penſé que l'eau eût été trop fatiguée de monter 500 pieds & plus de hauteur perpendiculaire tout d'une haleine. Il eſt plus probable qu'il a cru que ſa force motrice ne ſeroit pas ſuffiſante pour élever l'eau à cette hauteur; ce qui n'eſt pas conforme à la théorie, car, calcul fait, on trouve que la force d'une manivelle eſt plus que ſuffiſante pour élever un cylindre d'eau de cette hauteur, & de 8 pouces ou même plus de diametre. D'habiles mécaniciens ſont néanmoins perſuadés que quoique cela ne ſoit pas impoſſible, il pourroit y avoir de grands inconvénients à l'exécuter. Il ſeroit trop long de les détailler.

Mais il paroît aujourd'hui conſtant qu'on pourroit au moins élever l'eau d'un ſeul jet au ſecond puiſard. Cela réſulte de deux expériences faites l'une en 1738, l'autre en 1775. Dans la premiere, M. Camus, de l'Académie Royale des Sciences, tentoit de faire monter l'eau d'un ſeul jet à la tour: il n'y parvint pas, mais il la fit monter juſqu'au pied, ce qui eſt conſidérablement plus haut que le ſecond réſervoir: d'où il réſulte que, s'il s'étoit borné à faire monter l'eau d'un ſeul jet à

ce ſecond réſervoir, il y eût réuſſi. On dit au reſte que, dans cette épreuve, la machine fatiguoit prodigieuſement; qu'il fallut même en raffermir quelques parties avec des chaînes; enfin, qu'il fallut près de vingt-quatre heures pour faire monter l'eau à cette hauteur, qui eſt d'environ 450 pieds, & qu'on ne put lui faire dépaſſer. Dans la ſeconde épreuve, faite en 1775, on n'avoit pour objet que d'amener l'eau au ſecond puiſard. Or elle y monta à diverſes repriſes, & avec abondance. Il eſt vrai que les tuyaux fatiguoient extrêmement dans le bas, que pluſieurs creverent, & qu'il fallut à pluſieurs repriſes ſuſpendre & recommencer l'expérience; mais il eſt évident que cela ne venoit que de la vieilleſſe & du manque de force des tuyaux, qui n'avoient pas l'épaiſſeur convenable; & rien ne ſeroit plus facile que d'y remédier. Ainſi voilà déja un pas fait vers la perfection de la machine; & il réſulte de cette épreuve, que l'on peut ſupprimer les chaînes qui vont de la riviere au premier puiſard, & ce premier puiſard lui-même.

Il reſteroit à ſçavoir s'il ſeroit poſſible de faire monter d'un ſeul jet l'eau au ſommet de la tour. Ce ſeroit une expérience vraiment curieuſe; mais probablement elle ſeroit difficile, & coûteuſe, parcequ'il faudroit faire des changements conſidérables à diverſes parties de la machine; & dans le cas même où l'on y parviendroit, peut-être l'eau ſeroit-elle ſi peu abondante, qu'il vaudroit mieux conſerver le mécaniſme actuel.

Il eſt au ſurplus probable qu'il y auroit dans les détails de la machine, pluſieurs choſes à perfectionner. Il y a pluſieurs poſitions où les puiſſances n'agiſſent qu'obliquement; ce qui fait perdre beau-

coup de force, & doit tendre au détriment de la machine. Peut-être la forme des piſtons, des ſoupapes, des tuyaux d'aſpiration, ſeroit-elle à changer. Mais ce n'eſt pas ici le lieu d'entrer dans ces détails. Paſſons à la machine à feu, dont nous avons promis de donner une idée.

### §. VI. *De la Machine à Feu.*

La machine à feu eſt peut-être celle dans laquelle le génie de la mécanique s'eſt le plus manifeſté; car quelle idée heureuſe que celle d'employer pour moteurs, alternativement la force expanſive de la vapeur de l'eau & le poids de l'athmoſphere! Tel eſt en effet le principe de cette machine ingénieuſe, qui eſt aujourd'hui employée avec le plus grand ſuccès à des épuiſements de mines, & ſur-tout à fournir d'eau une partie de la ville de Londres.

Imaginez une grande chaudiere, au couvercle de laquelle eſt adapté un corps de pompe ou cylindre creux, de 2, 3 ou 4 pieds de diametre. La communication de ce cylindre avec la chaudiere, eſt formée par une ouverture ſuſceptible d'être alternativement libre ou interceptée. Dans ce cylindre enfin joue un piſton, dont la tige eſt attachée à l'extrémité d'un des bras d'un balancier, dont l'autre bras porte à ſon extrémité le poids à enlever, qui eſt communément le piſton de quelque pompe aſpirante, deſtinée à élever l'eau d'une grande profondeur. Tout cela doit être combiné de telle maniere que, quand l'air aborde librement dans le cylindre qui communique à la chaudiere, le poids ſeul des équipages attachés au bras oppoſé ſoit ſuſceptible d'enlever ce piſton.

Suppoſons à préſent la chaudiere remplie d'eau juſqu'à une certaine hauteur; qu'un grand feu ſoit allumé au deſſous, & faſſe bouillir cette eau vivement; une partie s'élevera continuellement en vapeur. Ainſi, lorſque la communication entre la chaudiere & le cylindre ſera ouverte, cette vapeur, qui eſt élaſtique, s'y introduira, & le poids oppoſé enlevera le piſton; car cette vapeur eſt équivalente à de l'air. Suppoſons encore que, par quelque mécaniſme aiſé à imaginer, ce piſton étant parvenu à une certaine hauteur, faſſe mouvoir une piece de la machine qui intercepte la communication entre la chaudiere & le cylindre; enfin que, par la même cauſe, un jet d'eau fraîche ſoit lancé dans ce cylindre contre le fond du piſton, d'où il retombera en forme de pluie à travers la vapeur: il arrivera dans ce moment que cette vapeur ſera condenſée en eau; il ſe formera un vuide dans la capacité du cylindre, & par conſéquent le piſton ſe trouvera à l'inſtant chargé du poids de l'athmoſphere, ou d'un poids équivalent à un cylindre d'eau de même baſe, & de 32 pieds de hauteur. Si, par exemple, le piſton a 52 pouces de diametre, comme dans une des machines à feu de Montrelais près d'Ingrande, ce poids équivaudra à 33024 livres; ce piſton ſera conſéquemment obligé de deſcendre avec une force égale à plus de 30 milliers, & l'autre bras du balancier, s'il eſt égal au premier, agira avec une force égale pour ſurmonter la réſiſtance qui lui eſt oppoſée. Ce premier coup de piſton donné, la communication entre la chaudiere & le cylindre ſe rétablit; la vapeur de l'eau bouillante y entre de nouveau; enfin, l'équilibre entre l'air de l'athmoſphere & le fluide de l'intérieur du cylindre

étant rétabli, le poids des équipages attachés à l'autre bout du balancier, enleve le piſton; le même jeu que deſſus ſe renouvelle, le piſton retombe, & la machine produit de nouveau ſon effet.

On ſent aiſément que nous devons nous borner à cette eſquiſſe de la machine, car il faudroit un long diſcours & beaucoup de figures pour décrire les pieces différentes & nombreuſes qui ſont néceſſaires pour ſon jeu; telles ſont la piece qui alternativement ouvre & ferme la communication de la chaudiere avec le cylindre, celle qui produit le jet d'eau dans l'intérieur du cylindre, celles qui ſervent à évacuer l'air & l'eau qui ſe forment dans cet intérieur, le régulateur néceſſaire pour empêcher que la vapeur, devenant trop forte, ne faſſe éclater la machine en morceaux, &c. On doit recourir aux auteurs qui ont traité *ex profeſſo* de cette machine, comme M. Bélidor, dans ſon *Architecture Hydraulique*, Tome II, premiere Partie; M. Deſaguliers, dans ſon *Cours de Phyſique Expérimentale*, Tome II; & divers autres.

La machine que nous venons de décrire eſt, au ſurplus, très-différente de celle dont Muſchenbroeck parle dans ſon *Cours de Phyſique Expérimentale*. Dans celle-ci, la vapeur agit par ſa compreſſion ſur un cylindre d'eau qu'elle fait monter; ce qui exige une vapeur très-élaſtique & très-échauffée. Mais il en réſulte un très-grand danger que la machine n'éclate en morceaux. Dans la nouvelle machine, celle que nous avons décrite, il ſuffit que la vapeur ait l'élaſticité de l'air, & il ne faut pas pour cela que l'eau bouillonne bien vivement; ce qui fait que le danger de voir tout ſauter en pieces n'eſt pas, à beaucoup près, ſi grand: on ne dit même pas que cela ſoit arrivé

à aucune des grandes machines à feu établies depuis assez long-temps.

La plus grande machine à feu que je connoisse, est celle qui est établie à Montrelais près d'Ingrande, & sert à épuiser des mines de charbon. Son cylindre a 52 pouces $\frac{1}{3}$ de diametre. Elle éleve à 612 pieds de hauteur, & par huit repriſes, la quantité de 1193 pieds cubes d'eau par heure, ou 150 muids; & comme on estime que, toute déduction faite du temps perdu pour commencer à la mettre en jeu, pour les réparations accidentelles qui surviennent de temps à autre, &c. elle travaille 22 heures des 24 de la journée, son effet journalier est d'élever à 612 pieds & de vuider en 24 heures, environ 3300 muids d'eau. Elle consomme dans le même temps environ 220 pieds cubes de charbon de terre. Je desirerois sçavoir le détail, ou au moins la totalité des autres dépenses annuelles, qu'occasionne son entretien. Je crois qu'elles doivent être assez considérables, attendu les huit repriſes ou relais par lesquels l'eau est amenée à cette hauteur de 612 pieds.

Il y a dans le même lieu une seconde machine, qui paroît à quelques égards mieux entendue. Son cylindre n'est que de 34 pouces de diametre; & elle éleve en 24 heures, à la même hauteur & d'une seule portée, 19880 pieds cubes, ou 2485 muids, ce qui est à peu près les deux tiers du produit de la premiere, tandis que sa force motrice, qui est proportionnée au quarré du diametre du piston, n'est que les $\frac{4}{7}$ environ de celle de la premiere.

On a tenté, il y a quelques années, d'appliquer la machine à feu pour faire mouvoir des voitures: on en fit même l'épreuve à l'arsenal de Paris. La

machine marcha en effet; mais je regarderai toujours cette idée comme plus ingénieuſe que ſuſceptible d'être miſe en uſage. Ce n'en ſeroit pas une fort agréable pour des voyageurs, que de ſentir derriere ſoi une machine capable de les foudroyer à chaque inſtant, & je doute que les places de fond fuſſent fort recherchées.

On a vu auſſi pendant aſſez long-temps, au milieu de la Seine, vis-à-vis Paſſy, un bateau qu'on prétendoit faire remonter au moyen de la machine à feu. On n'eſpéroit pas moins de cette invention, que d'amener en deux ou trois jours, de Rouen à Paris, un bateau chargé de marchandiſes; mais à peine la machine fut-elle en mouvement, que les roues, dont les aubes devoient ſervir de rames, ſauterent en morceaux, par un effet de l'impreſſion trop violente & trop ſubite qu'elles recevoient, & le bateau alla à la dérive. Tel fut le ſuccès de cette tentative, prévu au reſte par la plupart des mécaniciens qui en avoient vu les préparatifs.

Nous nous bornons à ce que nous venons de dire concernant diverſes machines qui ont eu ou qui ont de la célébrité. Il nous ſuffira d'ajouter encore ici une indication de quelques livres, que les amateurs des machines & ceux qui cherchent à s'inſtruire par des exemples, peuvent conſulter dans cette vue. Tel eſt le *Théâtre mécanique* de Leupolds, en allemand, & en pluſieurs volumes in-folio, dont le dernier parut en 1725. C'eſt un ouvrage curieux, mais dont l'auteur n'a pas toujours une théorie ſûre, car on le voit n'être pas bien perſuadé de l'impoſſibilité du mouvement perpétuel. Il y a auſſi le *Théâtre des Machines*, en italien & en françois, de Jacques Beſſon; celui

de Boeckler, en latin; l'ouvrage de Ramelli, en italien & en françois, ſur le même ſujet, qui eſt rare & fort recherché. *Le Cabinet des Machines* de M. de Servieres (in-4°. Paris, 1733) eſt un des plus curieux ouvrages de ce genre, par la multitude des machines qu'on y voit décrites, & qui ſont de l'invention de l'auteur. Il y en a qui ſont fort ingénieuſes, & dont l'artifice eût mérité d'être développé davantage; mais en général elles ſont plus curieuſes qu'utiles.

La Deſcription de la maniere dont le cavalier Carlo Fontana éleva à Rome le fameux obéliſque qu'on voit aujourd'hui au devant de Saint-Pierre, eſt encore un ouvrage digne de trouver place dans le cabinet des amateurs de la mécanique.

M Loriot, dans le cabinet duquel on peut voir un grand nombre de machines très-ingénieuſement inventées, promet d'en donner un jour la deſcription. Je crois que ce ſeroit un ouvrage auſſi utile que curieux; car la plûpart de ſes machines ſont marquées au coin du génie. Nous avons vu de lui une machine à battre les pieux, qui agit par un mouvement toujours dans le même ſens, ſans être jamais obligé de s'arrêter ni rétrograder pour reprendre le poids. Il n'eſt, à mon gré, rien de ſi ingénieux que le moyen par lequel, après la chute du poids ou mouton, le crochet ſervant à le remonter vient le reprendre, & par lequel le cable s'allonge ſans ceſſe pour l'atteindre de plus en plus bas, à meſure que le pieu eſt plus enfoncé. Si l'on compare cette manœuvre à la meilleure de celles qui ont été employées juſqu'ici, on ne pourra pas ſe refuſer à lui donner la préférence.

# TABLE

## *DES PESANTEURS SPÉCIFIQUES de divers corps, celle de l'Eau de pluie ou distillée étant supposée l'unité, & exprimée en parties décimales, comme 1.000 ou 1.0000* (a).

### *MÉTAUX.*

| | *Pesanteur spécifique.* | *Pesanteur du Pied cube.* liv. |
|---|---|---|
| Or de 24 karats, | 19.640 | 1373.749 |
| Or des guinées, | 18.888 | 1321.114 |
| Or de ducats, | 18.261 | 1277.275 |
| Or des louis, | 18.166 | 1270.640 |
| Mercure sublimé 511 fois, | 14.110 | 986.940 |
| Mercure très-purifié, | 13.996 | 978.964 |
| Mercure ordinaire du commerce, | 13.500 | 944.275 |
| Plomb, | 11.325 | 792.140 |
| Argent de 12 den. de fin, | 11.091 | 775.773 |
| Argent monnoyé de Hollande, | 10.535 | 736.873 |
| Bismuth, | 9.700 | 678.478 |
| Cuivre du Japon, | 9.000 | 629.515 |
| Cuivre de Suede, | 8.785 | 614.477 |
| Cuivre jaune ou laiton, | 8.000 | 559.569 |
| Acier, | 7.850 | 549.077 |
| Régule d'antimoine, | 7.707 | 539.075 |
| Fer, | 7.645 | 534.738 |
| Zinc, | 7.500 | 524.596 |
| Etain d'Angleterre, | 7.471 | 522.568 |
| Etain pur, | 7.320 | 511.006 |

(a) Dans la plus grande partie de cette Table, on s'est borné à des milliemes; mais lorsqu'il a été question des fluides, comme certaines eaux, dont la différence de poids avec l'eau douce & pure étoit de moins d'un millieme, on a poussé le calcul à des dix-milliemes & même plus loin, comme pour l'air.

## *PIERRES PRÉCIEUSES.*

| | *Pesanteur spécifique.* | *Pesanteur du Pied cube.* |
|---|---|---|
| Saphir oriental, | 3.562 | On a jugé superflu de mettre ici le poids du pied cube de ces matieres ; car il est sûr qu'on n'aura jamais à les mesurer ainsi. |
| Diamant, | 3.396 | |
| Opale, | 2.888 | |
| Emeraude, | 2.777 | |
| Topaſe orientale, | 2.712 | |
| Cryſtal de roche, | 2.650 | |
| Agate onix, | 2.510 | |
| Péridot, | 3.052 | |
| Jade, | 2.683 | |
| Hyacinthe, | 2.630 | |
| Améthyſte, | 2.215 | |
| Sardoine, | 2.180 | |

## *LIQUEURS.*

| | | liv. |
|---|---|---|
| Acide vitriol. extrêmement concentré, | 2.125 | 148.635 |
| Huile de vitriol ordinaire, | 1.650 | 115.411 |
| Eſprit de vitriol, | 1.250 | 87.432 |
| Eſprit de nitre très-concentré, | 1.510 | 105.618 |
| Eſprit de ſel marin, | 1.115 | 77.990 |
| Sang humain, | 1.040 | 72.744 |
| Lait de vache, | 1.032 | 72.185 |
| Lait de chevre, | 1.009 | 70.575 |
| Urine, | 1.030 | 72.044 |
| Vinaigre ordinaire rouge, | 1.019 | 71.275 |
| Vinaigre diſtillé, | 1.008 | 70.505 |
| Eau de mer (*a*), | 1.0294 | 72.0000 |
| | 1.0275 | 71.8755 |
| Eau de puits, | 1.0030 | 70.1550 |
| | 1.0010 | 70.0161 |
| Eau de Briſtol, | 1.0009 | 70.0091 |
| Eau de Ville-d'Avray, | 1.0006 | 69.9881 |
| Eau de Sainte-Reine, | 1.0005 | 69.9881 |
| Eau d'Arcueil, | 1.0004½ | 69.9775 |

(*a*) L'eau de mer peſe différemment, ſuivant les climats : elle eſt plus peſante dans la zone torride & loin des côtes, que dans les mers ſeptentrionales & près des terres.

| | *Peſanteur ſpécifique.* | *Peſanteur du Pied cube.* liv. |
|---|---|---|
| Eau de l'Yvette, | 1.0004 | 69.9741 |
| Eau de la Seine, | 1.0003 | 69.9671 |
| Eeau de la Loire, | 1.0002½ | 69.9635 |
| Eau de pluie, } (*a*) Eau diſtillée, } | 1.0000 | 69.9462 |
| Bierre douce de Paris, | 1.040 | 72.744 |
| Vin des Canaries, | 1.033 | 69.254 |
| Vin de Pacaret, | 0.992 | 69.385 |
| Vin de Champ. blanc mouſſeux (*b*), | 1.000 | 69.940 |
| Vins ordinaires, blancs & rouges, | 0.992 | 69.385 |
| Vin de Tavel, | 0.988 | 69.105 |
| Vins de Mâconnois, Torrens, &c. | 0.986 | 68.965 |
| Vin de Bordeaux rouge, | 0.984 | 68.827 |
| Vin de Bourgogne, ſeconde qualité, | 0.983 | 68.755 |
| Vins de Bourgogne, prem. qualité, | 0.982 | 68.685 |
| Huile de lin, | 0.932 | 65.190 |
| Huile de noix, | 0.934 | 65.330 |
| Huile de navette, | 0.919 | 64.280 |
| Huile d'olive, | 0.913 | 63.860 |
| Huile éthérée de térébenthine, | 0.874 | 61.132 |
| Huile graſſe de ſaſſafras, gérofle, | 1.030 | 72.044 |
| canelle, | 1.040 | 72.744 |
| Eau de vie ſimple (*c*), | 0.9343 | 65.3707 |
| Eau de vie double, | 0.9030 | 63.1613 |
| Eſprit de vin commun, | 0.8400 | 58.7548 |
| Eſprit de vin très-déphlegmé, | 0.8325 | 58.1960 |
| Ether vitriolique, ou liqueur éthérée de Frobénius, | 0.7325 | 51.2555 |
| Air, | 0.00125 | 00.0086 |

(*a*) Il eſt faux que l'eau de pluie & l'eau diſtillée different, comme on le lit dans les Tables de MM. Cotes & Muſchenbroeck : la différence eſt abſolument inſenſible, n'allant à peine qu'à un grain ou un demi-grain par livre. Il eſt également faux que les eaux de riviere & de ſource aient avec l'eau de pluie une auſſi grande différence qu'il eſt marqué dans ces mêmes Tables.

(*b*) On ne s'attendroit pas à cela. La cauſe eſt probablement la grande quantité d'air combiné.

(*c*) J'appelle *eau de vie ſimple*, celle qui contient parties égales d'eſprit & de phlegme ; *double*, celle où il y a deux parties d'eſprit avec une de phlegme.

## *BOIS* (a).

| | *Pesanteur spécifique.* | *Pesanteur du Pied cube* liv. |
|---|---|---|
| Bois de gayac, | 1.337 | 93.518 |
| Ebène, | 1.177 | 82.325 |
| Buis, | 1.014 | 70.885 |
| Chêne, | 0.920 | 64.314 |
| Orme, | 0.600 | 41.943 |
| Sapin, | 0.550 | 38.448 |
| Liege, | 0.240 | 16.777 |

## *DIVERSES SUBSTANCES.*

| | | |
|---|---|---|
| Cire jaune, | 0.995 | 69.596 |
| Ivoire, | 1.825 | 127.650 |
| Marbre ſtatuaire, | 2.700 | 189.000 |
| Autres marbres, | 2.700 | 189.000 |
| | 3.600 | 252.000 |
| Lapis-lazuli, | 3.050 | 213.336 |
| Jaſpe, | 2.610 | 282.559 |
| Soufre, | 2.000 | 139.892 |
| | 2.080 | 145.488 |
| Corail, | 2.590 | 181.160 |
| Corne de cerf, | 1.875 | 131.130 |
| Ambre jaune ou ſuccin, | 1.065 | 74.490 |
| Ambre gris, | 1.040 | 72.744 |
| Borax, | 1.720 | 120.305 |

## *MATÉRIAUX EMPLOYÉS A PARIS EN ARCHITECTURE.*

| | | |
|---|---|---|
| Pierre tendre ou de Saint-Leu, | Cette co- | 115 |
| Pierre dure, | lonne nous | 140 |
| Pierre de liais, | a paru ſu- | 165 |
| Grès, | perflue, les | 185 |
| Brique, | poids indi- | 115 |
| | qués dans | 140 |
| Plâtre en pierre, | la ſeconde n'étant que | 86 |

(a) On ſuppoſe ces bois fort ſecs; car on doit obſerver que, lorſqu'ils ſont verds, ils ſont beaucoup plus peſants, & qu'étant imbibés d'eau, ils vont au fond.

| | | *Pesanteur du Pied cube.* liv. |
|---|---|---|
| Platre gâché pour être employé, | des approximations médiocrement exactes. | 105 |
| Sable terreux, | | 120 |
| Sable fort, | | 124 |
| Sable de riviere, | | 132 |
| Terre ordinaire végétale, | | 95 |
| Terre grasse, | | 115 |
| Terre argileuse, | | 135 |
| Ardoise, | | 156 |
| Tuile, | | 127 |

## *REMARQUE GÉNÉRALE.*

NOUS avons tiré une grande partie de cette table, des *Leçons de Physique* de M. Cotes, ou de l'*Essai de Physique* de Muschenbroeck; mais nous devons observer,

1° Que nous avons supprimé plusieurs corps, soit pour nous restreindre à ce qui pouvoit être le plus utile, soit parceque plusieurs des déterminations données dans ces tables, m'ont paru fort suspectes ou évidemment erronnées. En effet, quelle confiance peut-on avoir dans une table comme celle qu'on voit dans le livre de M. Muschenbroeck, (trad. de Massuet, édit. de Leyde, 1739), page 414, Tome I, où dans trois lignes il y a trois fautes évidentes? Car 1° il est faux que, entre les pesanteurs spécifiques de l'eau de pluie & de l'eau distillée, il y ait le rapport de 1000 à 993 : il n'y a presque aucune différence. 2° Il est également faux que l'eau de puits soit plus légere que l'eau de pluie : le contraire est notoire. 3° Il est encore faux qu'aucune eau de riviere soit en pesanteur spécifique à l'eau de pluie, comme 1009 à 1000 Il faudroit pour cela une eau qui tînt près de 10 onces de sels par pied cube en dissolution.

La plus crue de toutes les eaux de puits n'eſt pas auſſi peſante. La table de M. Cotes, moins vicieuſe, adopte cependant auſſi une partie de ces erreurs.

2° Nous avons ajouté les peſanteurs ſpécifiques de quantité d'autres corps, que nous avons trouvées dans des livres dignes de confiance, ou que nous avons déduites en combinant diverſes expériences; telles ſont les peſanteurs ſpécifiques de pluſieurs eaux, dont quelques-unes ont de la célébrité & n'en ſont pas meilleures; celles de diverſes eſpeces de vins.

3° Lorſqu'on trouve deux nombres accolés à côté d'une même ſubſtance, cela ſignifie que ce ſont à peu près les termes entre leſquels ſa peſanteur varie.

Malgré ces ſoins, je ne regarde encore cette table que comme un ouvrage bien éloigné de ce qu'il pourroit & devroit être; car il y a une multitude de circonſtances auxquelles M. Cotes ni M. Muſchenbroeck ne paroiſſent pas avoir fait attention. Il faudroit, pour avoir une bonne table de cette eſpece, que toutes les peſanteurs fuſſent réduites à une même température; ce qui n'a pas été fait par ces auteurs. Il y a des ſubſtances, telles que les huiles, qui certainement different en peſanteur, ſuivant qu'elles ſont plus anciennes ou plus récentes. On ne doit donc regarder tout ce qu'on lit ici, que comme une ſorte d'approximation qui n'eſt pas beaucoup éloignée de la vérité. Nous projetons, au reſte, de faire de nouvelles expériences beaucoup plus étendues & beaucoup plus exactes, qui nous mettront à portée de donner une table telle que celle dont on devroit être déja en poſſeſſion.

# TABLE

## *Des poids tant anciens que modernes, comparés à la livre de Paris, qui contient 16 onces ou 9216 grains.*

DE même que nous avons donné à la ſuite de la partie de la géométrie, une table comparative des principales meſures longitudinales, tant anciennes que modernes, nous croyons devoir donner ici une pareille table pour les poids des différents pays de l'univers, & principalement d'Europe, en les comparant à la livre de Paris.

Il faut donc ſçavoir d'abord que la livre de Paris ſe diviſe en 16 onces, chacune deſquelles ſe partage en 8 gros, chaque gros en 3 deniers, & le denier en 24 grains, enſorte que le gros contient 72 grains, l'once 576, & la livre 9216. On paſſe aſſez ordinairement la ſous-diviſion des gros en drachmes ou deniers, & en mettant les grains immédiatement après les gros, en cette ſorte, par exemple, 1 livre 5 onces 5 gros 61 grains, au lieu de 1 livre 5 onces 5 gros 2 deniers 13 grains.

Le poids monétal eſt le marc, qui eſt compoſé de 8 onces, dont les 16 ſont la livre; les ſubdiviſions ſont d'ailleurs les mêmes que ci-deſſus.

Après cette petite inſtruction préliminaire, nous allons entrer en matiere, en commençant par les poids anciens. Ce que nous dirons ici eſt au reſte emprunté du livre de M. Chriſtiani, intitulé *delle*

*Miſure dogni genere, antiche è moderne*, &c. imprimé à Veniſe en 1760, in-4°; livre dans lequel cet auteur ſemble avoir entrepris d'épuiſer la matiere. On ne conviendra peut-être pas généralement de l'évaluation qu'il donne à quelques poids anciens, mais la matiere eſt obſcure, & il n'eſt pas ſurprenant qu'il y regne encore quelque indéciſion.

## *POIDS ANCIENS.*

### *Poids des Hébreux.*

| | Grains. | Rapp. à la liv. de Par. liv. | onc. | gr. | grain. |
|---|---|---|---|---|---|
| L'obole, appellé *gerach*, | 13 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| Demi-ſicle, (beka) | 126 | | | | |
| Sicle, (ſeckel) | 252 | 0 | 0 | | |
| Mine, (maneh) | 15180 | 1 | 10 | 2 | 60 |
| Talent, (cicar) | 759000 | 82 | 5 | | |

### *Poids grecs attiques* (a).

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Le calcho, | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| L'obole, | 10 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| La dragme, | $63\frac{1}{4}$ | 0 | 0 | 0 | $63\frac{1}{4}$ |
| La didragme, | 126 | 0 | 0 | 1 | 54 |
| La tetradragme, | 253 | 0 | 0 | 3 | 37 |
| La petite mine de 75 dragmes, | $4743\frac{1}{4}$ | 0 | 8 | 1 | $63\frac{1}{4}$ |
| La grande mine de 100 drag., | 6325 | 0 | 10 | 7 | 61 |
| Le petit talent de 60 petites mines (b), | 284625 | 30 | 14 | 1 | 9 |
| Le grand talent de 60 grandes mines, | 379500 | 41 | 2 | 6 | 60 |

(a) Il faut remarquer que ces poids étoient en même temps monnoie; ce qui étoit bien mieux entendu que ce qui ſe paſſe chez nous.

(b) Je m'écarte ici de M. Chriſtiani, qui me paroît ſe tromper dans ſon évaluation de ces deux talents, s'il eſt vrai, comme il le dit ailleurs, que l'un fût de ſoixante petites mines, & l'autre de ſoixante grandes.

La

## *Poids Romains.*

| | Grains. | Rapp. à la liv. de Par. liv. | onc. | gr. | g. |
|---|---|---|---|---|---|
| Le denier, | 63 1/4 | 0 | 0 | 0 | 63 1/4 |
| L'once égale à 8 deniers, | 506 | 0 | 0 | 7 | 2 |
| L'as ou la livre, de 12 onces, | 6072 | 0 | 10 | 4 | 24 |
| Autre livre de 10 onces, | 5060 | 0 | 8 | 6 | 20 |
| Le petit talent, | 30 | 14 | 1 | 9 | |
| Le grand talent, | 41 | 2 | 6 | 60 | |

## *POIDS MODERNES*

### *Des principaux pays & lieux de l'univers, & particuliérement de l'Europe.*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Alep, la liv. appellée *rotolo*, | 37768 | 4 | 1 | 4 | 40 |
| Alexandrie en Egypte, | 7507 | 0 | 13 | 0 | 19 |
| Alicante, | 8421 | 0 | 14 | 4 | 69 |
| Amſterdam, | 9094 | 0 | 15 | 6 | 22 |
| Anvers & Pays-Bas, | 8635 | 0 | 14 | 7 | 57 |
| Avignon, | 7578 | 0 | 13 | 1 | 18 |
| Bayonne, | 9094 | 0 | 15 | 6 | 22 |
| Baſle, | 9280 | 1 | 0 | 0 | 64 |
| Bergame, | 5685 | 0 | 9 | 6 | 69 |
| | 14212 | 1 | 7 | 5 | 28 |
| Berghen, | 9548 | 1 | 0 | 4 | 44 |
| Berne, | 8193 | 0 | 14 | 1 | 57 |
| Bilbao, | 9094 | 0 | 15 | 6 | 22 |
| Bois-le-Duc, | 8661 | 0 | 15 | 0 | 21 |
| Bordeaux, *voyez* Bayonne. | | | | | |
| Bourg, | 8744 | 0 | 15 | 1 | 22 |
| Breſcia, | 5481 | 0 | 9 | 4 | 9 |
| Bruges, comme à Anvers. | | | | | |
| Bruxelles, *idem.* | | | | | |
| Cadix, | 8579 | 0 | 14 | 7 | 11 |
| Chine, (le kin) | 11242 | 1 | 3 | 4 | 10 |
| Cologne, | 8801 | 0 | 15 | 2 | 17 |
| Conſtantinople, | 9237 | 1 | 0 | 0 | 21 |
| Copenhague, | 8460 | 0 | 14 | 5 | 36 |
| Damas, (le rotolo) | 31220 | 3 | 6 | 1 | 44 |

| | Grains. | Rapp. à la liv. de Par. liv. | onc. | gr. | g. |
|---|---|---|---|---|---|
| Dantzik, | 8013 | 0 | 13 | 7 | 21 |
| Dublin, | 9476 | 1 | 0 | 3 | 16 |
| Florence & Toſcane, | 6444 | 0 | 11 | 1 | 36 |
| Gand, *voyez* Anvers. | | | | | |
| Genes, *peſo ſottile*, | 5395 | | 9 | 2 | 67 |
| Genes, *peſo commune*, | 8091 | | 14 | 0 | 27 |
| Geneve, | 10248 | 1 | 1 | 6 | 24 |
| Hambourg, | 8916 | 0 | 15 | 3 | 60 |
| Konigsberg, | 7275 | 0 | 12 | 5 | 3 |
| Leyde, | 8579 | 8 | 14 | 7 | 11 |
| Liege, | 8641 | 0 | 15 | 0 | 1 |
| Lille, | 7977 | 0 | 13 | 6 | 57 |
| Lisbone, | 8539 | 0 | 14 | 6 | 43 |
| Livourne, | 6272 | 0 | 10 | 7 | 8 |
| Londres, *poids de troy*, | 7021 | 0 | 12 | 1 | 37 |
| Londres, *averdupois*, | 8544 | 0 | 14 | 6 | 48 |
| Louvain, *voyez* Anvers. | | | | | |
| Lucques, | 6427 | 0 | 11 | 1 | 19 |
| Lyon, *poids de ſoie*, | 8467 | 0 | 14 | 5 | 43 |
| Lyon, *poids de ville*, | 7840 | 0 | 13 | 4 | 64 |
| Madrid, | 7977 | 0 | 13 | 6 | 57 |
| Malines, *voyez* Anvers. | | | | | |
| Saint-Malo, *voyez* Bayonne. | | | | | |
| Marſeille, | 7364 | 0 | 12 | 6 | 20 |
| Meſſine, | 5905 | 0 | 10 | 2 | 1 |
| Mêlan, | 5413 | 0 | 9 | 3 | 13 |
| Montpellier, | 7579 | 0 | 13 | 1 | 19 |
| Namur, | 8745 | 0 | 15 | 1 | 33 |
| Nantes, *voyez* Bayonne. | | | | | |
| Nancy, | 8579 | 0 | 14 | 7 | 11 |
| Naples, | 6036 | 0 | 10 | 3 | 60 |
| Nuremberg, | 9594 | 1 | 0 | 5 | 18 |
| Piſe, *voyez* Florence. | | | | | |
| Revel, | 8013 | 0 | 13 | 7 | 21 |
| Riga, | 7495 | 0 | 12 | 7 | 69 |
| Rouen, | 9473 | 1 | 0 | 3 | 41 |
| Rome, | 6408 | 0 | 11 | 1 | 0 |
| Sarragoſſe, | 5738 | 0 | 9 | 7 | 50 |
| Séville, | 8579 | 0 | 14 | 7 | 11 |
| Smyrne, | 7977 | 0 | 13 | 6 | 57 |

| | Grains. | Rapp. à la liv. de Par. liv. | onc. | gr. | g. |
|---|---|---|---|---|---|
| Stettin, | 8267 | 0 | 14 | 2 | 59 |
| Stockolm, | 11228 | 1 | 3 | 3 | 68 |
| Strasbourg, | 8870 | 0 | 15 | 3 | 14 |
| Toulouſe & haut Languedoc, | 7707 | 0 | 13 | 3 | 3 |
| Turin & Piémont en général, | 6021 | 0 | 10 | 3 | 45 |
| Tunis & Tripoli de Barbarie, | 8703 | 0 | 15 | 0 | 60 |
| Veniſe, *petit poids*, | 5138 | 0 | 8 | 7 | 26 |
| Veniſe, *gros poids*, | 8321 | 0 | 14 | 2 | 13 |
| Vérone, | 6551 | 0 | 9 | 6 | 35 |
| Vicence, *petit poids*, | 5700 | 0 | 9 | 9 | 12 |
| Vicence, *gros poids*, | 8385 | 0 | 14 | 4 | 33 |

### *REMARQUE.*

JE ſuis cependant loin d'aſſurer l'exactitude parfaite de tous ces rapports, car je ne puis diſſimuler que je trouve des contradictions entre ceux donnés par M. Chriſtiani, & un tarif mercantile des poids d'Italie entr'eux. J'ai pourtant plus de confiance en M. Chriſtiani, qui paroît avoir fait des recherches plus exactes que l'auteur de ce tarif, qui m'a paru peu inſtruit, puiſque, à l'égard de Paris, il dit que la livre s'y diviſe en 12 onces, qu'à l'égard de Londres, il ne ſoupçonne même pas les deux poids différents appellés de *troy* & *averdupois*.

Au reſte, à l'aſpect des poids différents qu'on voit employer dans des endroits très-voiſins, & quelquefois dans la même ville, (car à Genes, par exemple, il n'y en a que cinq différents), on ne peut ſe refuſer à une réflexion, ſçavoir, qu'il ſeroit bien à deſirer que les Puiſſances travaillaſſent à établir plus d'uniformité. Demander qu'il n'y ait en Europe qu'un même poids, un même pied, c'eſt faire un ſouhait chimérique; mais il ſemble qu'il coûteroit peu d'introduire

dans chaque Etat une ſeule meſure. Alors on diroit ſimplement la meſure de France, la meſure d'Angleterre, la meſure de Hollande, &c. & tous les calculs & réductions ſeroient extrêmement ſimplifiés. Que de choſes reſtent à faire pour débrouiller le chaos de nos inſtitutions barbares! Tous les pays de l'Europe ſont preſque encore dans cet état informe qui pourroit leur faire appliquer ces vers d'Ovide:

. . . . . *rudis indigeſtaque moles,*
*Nec benè junctarum diſcordia ſemina rerum.*

# RÉCRÉATIONS
# *MATHÉMATIQUES*
## ET
# *PHYSIQUES.*

## QUATRIEME PARTIE,

*CONTENANT divers Problêmes curieux d'Optique.*

LES propriétés de la lumiere, & les phénomenes de la viſion, forment l'objet de cette partie des mathématiques mixtes, appellée l'*optique*. Elle ſe diviſe communément en quatre branches, ſçavoir, l'optique directe, la catoptrique, la dioptrique, & la perſpective.

En effet, la lumiere peut arriver à nos yeux, ou directement, ou après avoir été réfléchie, ou après avoir été rompue. Conſidérée ſous le premier aſpect, elle donne naiſſance à la premiere branche de l'optique, appellée l'*optique directe*. On

y explique tout ce qui a trait à la propagation directe de la lumiere, à la maniere dont on apperçoit les objets, &c.

La catoptrique s'occupe des effets de la lumiere réfléchie, & des phénomenes auxquels donne lieu la réflexion de la lumiere ſur des ſurfaces de différentes formes, planes, convexes, concaves, &c.

Lorſque la lumiere, en paſſant à travers divers corps tranſparents, eſt détournée de ſa route directe, ce qu'on nomme réfraction, elle eſt l'objet de la dioptrique. C'eſt elle qui rend compte des effets des téleſcopes & microſcopes par réfraction.

La perſpective ne devroit former qu'une branche de l'optique directe; car ce n'eſt que la ſolution des différents cas de ce problême : *Sur une ſurface donnée, tracer l'image d'un objet de telle maniere qu'elle faſſe ſur un œil, placé dans le lieu convenable, la même ſenſation que l'objet lui-même;* problême purement géométrique, & dans lequel il n'eſt queſtion que de déterminer ſur un plan donné de poſition, les points où il eſt coupé par les lignes droites, tirées à l'œil de chaque point de l'objet. On n'emprunte conſéquemment ici de l'optique, que le principe de la rectitude des rayons de lumiere, tant qu'ils ſe meuvent dans le même milieu; le reſte eſt de la géométrie pure.

Nous allons, ſans nous aſtreindre à d'autre ordre qu'à celui de la méthode, paſſer en revue les problêmes & les objets les plus curieux de cette partie intéreſſante des mathématiques.

*Sur la nature de la lumiere.*

Avant d'entrer dans des détails ſur l'optique,

nous ne pouvons nous diſpenſer de dire quelque choſe ſur la nature & les propriétés de la lumiere en général.

Les philoſophes ſont encore partagés, & le ſeront probablement long-temps ſur la nature de la lumiere. Quelques-uns la regardent comme l'ébranlement d'un fluide extrêmement délié & élaſtique, ébranlement communiqué à ce fluide par les vibrations du corps lumineux, & qui ſe propage circulairement à des diſtances immenſes & avec une rapidité inconcevable. La lumiere eſt, ſuivant eux, tout-à-fait analogue au ſon, qu'on ſçait conſiſter dans un ſemblable ébranlement de l'air, qui en eſt le véhicule. Pluſieurs raiſons fort ſpécieuſes donnent à cette opinion une grande vraiſemblance, malgré quelques difficultés phyſiques qu'il n'eſt pas aiſé de réſoudre.

Suivant Newton, au contraire, la lumiere conſiſte dans l'émiſſion même des particules du corps lumineux, extrêmement raréfiées, & lancées avec une viteſſe prodigieuſe. Les difficultés phyſiques qui militent contre l'opinion précédente, ſemblent ſervir de preuves à celle-ci; car il n'y a que ces deux manieres de concevoir la nature & la propagation de la lumiere.

Mais ce n'eſt pas ici le lieu d'entrer dans une ſemblable diſcuſſion. Quelle que ſoit la nature de la lumiere, il eſt démontré aujourd'hui qu'elle ſe meut avec une viteſſe qui effraye l'imagination; car on ſçait qu'elle ne met que ſept à huit minutes à venir du ſoleil à la terre. Et comme la diſtance du ſoleil à la terre eſt, ſuivant les obſervations les plus récentes, de 22000 demi-diametres terreſtres, ou 33 millions de lieues, la lumiere en parcourt plus de 73000 dans une ſeconde : elle iroit &

reviendroit en moins de trois ſecondes, de la terre à la lune & de la lune à la terre.

Les propriétés principales de la lumiere, celles ſur leſquelles eſt fondée toute l'optique, ſont les ſuivantes.

1. *La lumiere ſe meut en ligne droite, tant qu'elle parcourt le même milieu tranſparent.*

Cette propriété eſt une ſuite néceſſaire de la nature de la lumiere; car, quelle qu'elle ſoit, elle eſt un corps en mouvement. Mais un corps ſe meut toujours en ligne droite, tant que rien ne tend à l'en détourner: or, dans un même milieu, tout eſt égal dans tous les ſens: ainſi la lumiere doit s'y mouvoir en ligne droite.

On démontre d'ailleurs ce principe d'optique, ainſi que le ſuivant, par l'expérience.

2. *La lumiere, à la rencontre d'un plan poli, ſe réfléchit en faiſant l'angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, & la réflexion ſe fait toujours dans un plan perpendiculaire à la ſurface réfléchiſſante au point de réflexion.*

Pl. 1, fig. 1. C'eſt-à-dire que ſi AB eſt un rayon incident ſur une ſurface plane, B le point de réflexion, pour trouver la direction du rayon réfléchi BC, il faut d'abord concevoir par la ligne AB un plan perpendiculaire à cette ſurface, & la coupant dans la ligne DE, puis faiſant l'angle CBE égal à ABD, la ligne CB ſera le rayon réfléchi.

Si la ſurface réfléchiſſante eſt courbe, comme *de*, il faut concevoir par le point B de réflexion, un plan tangent à cette ſurface; la réflexion ſe fera tout comme ſi c'étoit le point B de cette ſurface qui opérât la réflexion: car il eſt évident que

la ſurface courbe & le plan tangent au point B, coïncident dans cette partie infiniment petite, qui peut être conſidérée comme un plan commun à la ſurface courbe & au plan tangent : donc le rayon de lumiere doit ſe réfléchir de deſſus la ſurface courbe, tout comme du point B du plan qui la touche.

3. *La lumiere, en paſſant obliquement d'un milieu dans un autre de différente denſité, ſe détourne de la ligne droite, & s'incline vers la perpendiculaire, ſi elle paſſe d'un milieu rare dans un plus denſe, comme de l'air dans le verre, ou dans l'eau ; & au contraire.*

Deux expériences, qui ſont des eſpeces de jeux d'optique, vont nous prouver cette vérité.

## PREMIERE EXPÉRIENCE.

Expoſez au ſoleil, ou à une lumiere quelconque, un vaſe ABCD dont les parois ſoient opaques, & examinez à quel point du fond ſe termine l'ombre. Que ce ſoit, par exemple, en E. Verſez-y de l'eau, de l'huile, juſqu'au bord ; vous remarquerez que l'ombre, au lieu de ſe terminer à ce point E, ne l'atteindra plus, & ſe terminera comme en F. Cela ne peut venir que de l'inflexion du rayon de lumiere SA, qui touche le bord du vaſe. Ce rayon, quand le vaſe étoit vuide, continuant ſa route en ligne droite SAE, alloit terminer l'ombre au point E ; mais il ſe replie en AF lorſque ce vaſe eſt plein d'un fluide plus denſe que l'air. C'eſt cette inflexion du rayon de lumiere, en paſſant obliquement d'un milieu dans un autre, qu'on nomme *réfraction*. Pl. 1, fig. 2.

## SECONDE EXPÉRIENCE.

Pl. 1, fig. 3. Placez au fond d'un vaſe dont les parois ſont opaques, en C, par exemple, une piece de monnoie, ou un objet quelconque, & éloignez-vous du vaſe juſqu'à ce que le bord vous cache cet objet; faites y verſer de l'eau; vous le verrez auſſitôt paroître, ainſi que partie du fond qui étoit cachée à votre vue. En voici la raiſon.

Lorſque le vaſe eſt vuide, l'œil O ne peut appercevoir le point C que par le rayon direct CAO, qui eſt intercepté par le bord A du vaſe; mais lorſque le vaſe eſt plein d'eau, il y a un rayon comme CD, qui, au lieu de continuer ſa route directement en E, eſt rompu en DO, en s'éloignant de la perpendiculaire DP. Ce rayon porte à l'œil l'apparence du point C, & l'œil le voit dans la prolongation de OD en ligne directe, comme en *c*: auſſi le fond paroît-il dans ce cas élevé. C'eſt par une ſemblable raiſon qu'un bâton bien droit, étant plongé dans l'eau, paroît plié au point où il rencontre la ſurface, à moins qu'il ne ſoit plongé perpendiculairement.

Les phyſiciens géometres ont examiné ſoigneuſement la loi ſuivant laquelle ſe fait cette inflexion de la lumiere, & ils ont trouvé que, lorſqu'un Fig. 4. rayon, comme EF, paſſe de l'air dans le verre, il eſt rompu en FI, de maniere qu'il regne entre le ſinus de l'angle CFE & celui de l'angle DFI, une raiſon conſtante. Ainſi, que le rayon EF ſoit rompu en FI, & le rayon *e*F en F*i*, il y aura même raiſon du ſinus de l'angle CFE au ſinus de l'angle DFI, que du ſinus de l'angle CF*e* au ſinus de l'angle DF*i*. Ce rapport, lorſque le paſſage ſe fait de l'air dans le verre ordinaire, eſt conſtam-

ment de 3 à 2 ; c'eſt-à-dire que le ſinus de l'angle fait par le rayon rompu avec la perpendiculaire à la ſurface réfringente, eſt conſtamment les deux tiers de celui de l'angle que fait le rayon incident avec la même perpendiculaire.

On doit obſerver que lorſque ce dernier angle, c'eſt-à-dire l'écart du rayon incident d'avec la perpendiculaire, ce qu'on nomme l'*angle d'inclinaiſon*, eſt fort petit, on peut regarder l'angle rompu comme en étant les deux tiers ; cela s'entend lorſque le rayon paſſe de l'air dans le verre ; car on ſçait, & il eſt aiſé de le vérifier par les table des ſinus, que lorſque deux angles ſont fort petits, c'eſt-à-dire qu'ils ne ſurpaſſent pas 5 à 6 degrés, par exemple, ils ſont ſenſiblement dans la même raiſon que leurs ſinus : ainſi, dans le cas ci-deſſus, l'angle rompu IFD ſera les deux tiers de l'angle d'inclinaiſon GFE ; & l'angle de réfraction, ou l'écart du rayon rompu d'avec l'incident prolongé en ligne droite, en ſera conſéquemment le tiers.

Lorſque le paſſage ſe fait de l'air dans l'eau, le rapport des ſinus des angles d'inclinaiſon & rompu, eſt de 4 à 3 ; c'eſt-à-dire que le ſinus de l'angle DFI eſt conſtamment les $\frac{3}{4}$ de celui de l'angle d'inclinaiſon GFE, du rayon incident dans l'air ; & conſéquemment, lorſque ces angles ſeront fort petits, on pourra les regarder comme étant dans le même rapport, & l'angle de réfraction ſera le $\frac{1}{4}$ de l'angle d'inclinaiſon (*a*).

---

(*a*) Il eſt d'uſage aujourd'hui d'appeller l'angle du rayon incident avec la perpendiculaire, comme CFE, l'*angle d'incidence*, & de donner le nom d'*angle de réfraction* à celui du rayon rompu avec la même perpendiculaire pro-

Cette proportion eſt la baſe de tous les calculs de la dioptrique, & il faut, par cette raiſon, ſe la graver profondément dans la mémoire. On en doit la découverte au célebre Deſcartes, quoiqu'il paroiſſe certain, par le témoignage d'Huygens, que Willebrod Snellius, mathématicien Hollandois, avoit découvert avant lui une loi de la réfraction également conſtante, & qui au fond eſt la même que celle de Deſcartes. Mais Voſſius a eu tort de prétendre, comme il fait dans ſon livre *de Naturâ Lucis*, que l'expreſſion de Snellius étoit plus commode. Ce ſçavant ne ſçavoit guere ce qu'il diſoit quand il ſe mêloit de parler phyſique.

## PROBLÊME I.

*Repréſenter dans une chambre fermée les objets extérieurs, avec leurs couleurs & leurs proportions naturelles.*

FERMEZ la porte & les fenêtres de la chambre, enſorte qu'il n'y entre aucune lumiere que par un trou fort petit & bien tranché, que vous aurez réſervé à une fenêtre en face d'une place fréquentée ou d'un payſage; tendez contre le mur oppoſé, s'il n'eſt pas bien dreſſé, un drap bien blanc. Si les objets extérieurs ſont fortement éclairés & la chambre bien noire, ils ſe peindront ſur ce mur ou ſur le drap, avec leurs couleurs & dans une ſituation renverſée.

L'expérience faite de cette maniere fort ſimple,

---

longée, comme IFD. Il eſt à propos d'être prévenu de cette différence de langage, pour ne pas trouver les opticiens modernes en contradiction avec ceux du dernier ſiecle.

réuſſit aſſez bien pour ſurprendre ceux qui la voient pour la premiere fois; mais on la rend bien plus frappante au moyen d'un verre lenticulaire.

Adaptez au trou du volet, qui doit alors avoir quelques pouces de diametre, un tuyau portant à ſon extrémité intérieure un verre lenticulaire convexe, de 4, 5 ou 6 pieds de foyer (*a*); tendez à cette diſtance du verre, & perpendiculairement à l'axe du tuyau, le drap ou le carton ci-deſſus: vous verrez les objets extérieurs peints avec une vivacité & une diſtinction bien ſupérieures à celles de l'expérience précédente; elles ſeront telles, que vous pourrez diſtinguer les traits des perſonnes que vous verrez. On ne ſçauroit dire enfin combien ce petit ſpectacle eſt amuſant, ſur-tout quand on conſidere de cette maniere une place publique & fort paſſagere, une promenade remplie de monde, &c.

Cette peinture eſt à la vérité renverſée, ce qui nuit d'abord un peu à l'agrément; mais on peut la redreſſer de pluſieurs manieres: il eſt ſeulement fâcheux que cela ne ſe faſſe point ſans nuire à la diſtinction ou à l'étendue du champ du tableau. Si néanmoins on veut ſe procurer la commodité de voir les objets droits, voici un moyen pour cela.

Vers la moitié de la diſtance du foyer du verre lenticulaire, placez à angles de 45° un miroir

---

(*a*) On expliquera plus loin ce que c'eſt qu'un *verre lenticulaire* ou une *lentille de verre*, ainſi que ſon foyer, & quels en ſont les effets & les propriétés: il ſuffit qu'on ſçache ici qu'un de ces effets conſiſte à produire derriere le verre convexe, à une diſtance déterminée, une image des objets parfaitement ſemblable aux objets eux-mêmes.

Pl. 1, fig. 5. plan, enſorte qu'il réfléchiſſe vers le bas les rayons venants de la lentille ; placez horizontalement au-deſſous, le tableau ou le carton blanc à la hauteur convenable : vous aurez l'image des objets extérieurs peints ſur ce carton, dans la ſituation droite à l'égard de ceux qui auront le dos tourné à la croiſée. La *fig. 5* repréſente le mécaniſme de cette inverſion, qu'on ne concevra au reſte clairement, qu'autant qu'on aura déja quelqu'idée de catoptrique.

Ce tableau pourra être placé ſur une table ; il ne ſera queſtion que de diſpoſer le verre & le miroir à la hauteur convenable pour que l'objet s'y peigne diſtinctement : on aura, par ce moyen, la commodité de deſſiner exactement un payſage, un édifice, &c.

## PROBLÊME II.

*Conſtruire une chambre obſcure qu'on puiſſe tranſporter.*

Fig. 6. FAITES une caiſſe de bois ABCD, à laquelle vous donnerez environ un pied de hauteur & autant de largeur, & deux ou trois de longueur environ, ſuivant la diſtance du foyer des lentilles que vous emploierez ; ajoutez à l'un des côtés un tuyau EF, formé de deux qui, s'emboîtant l'un dans l'autre, puiſſent s'alonger ou ſe raccourcir, ſelon le beſoin ; à l'ouverture antérieure du premier tuyau, vous adapterez deux lentilles convexes des deux côtés, de ſept pouces environ de diametre, de maniere qu'elles ſe touchent preſque, & au trou intérieur vous en placerez une autre de cinq pouces environ de foyer ; vous diſpoſerez perpendiculairement vers le milieu de la longueur

de cette boîte, un papier huilé GH, attaché ſur un chaſſis; enfin, vous ménagerez au côté oppoſé au tuyau une ouverture en I, aſſez grande pour recevoir les deux yeux.

Quand vous voudrez voir quelques objets, vous tournerez le tuyau garni de ſes lentilles vers ces objets, & vous les ajuſterez de maniere que l'image ſoit peinte diſtinctement ſur le papier huilé; ce à quoi vous parviendrez, en retirant ou alongeant le tuyau mobile.

Voici la deſcription d'une autre chambre obſcure, inventée par M. s'Graveſande, qui l'a donnée à la ſuite de ſon *Eſſai de Perſpective.*

Cette machine a la forme à peu près d'une chaiſe à porteur; le deſſus en eſt arrondi vers le derriere; & par le devant elle eſt bombée, & ſaillante dans le milieu de la hauteur. Voyez la figure qui repréſente cette machine dont le côté oppoſé à la porte eſt enlevé, afin qu'on puiſſe voir l'intérieur. Pl. 2, fig. 7.

1. Au dedans, la planche A ſert de table; elle tourne ſur deux chevilles de fer portées dans le devant de la machine, & eſt ſoutenue par deux chainettes, pour pouvoir être levée, & faciliter l'entrée dans la machine.

2. Au derriere de la machine, en dehors, ſont attachés quatre petits fers, C, C, C, C, dans leſquels gliſſent deux regles de bois DE, DE, de la largeur de trois pouces, aux travers deſquels paſſent deux lattes, ſervant à tenir attachée une petite planche F, laquelle, par leur moyen, peut avancer ou reculer.

3. Au deſſus de la machine eſt une échancrure PMOQ, longue de neuf ou dix pouces, & large de quatre, aux côtés de laquelle ſont attachées

deux regles en forme de queue d'aronde, entre leſquelles on fait gliſſer une planche de même longueur, percée dans ſon milieu d'un trou rond d'environ trois pouces de diametre, & garni d'un écrou qui ſert à élever & abaiſſer un cylindre garni de la vis correſpondante, & d'environ quatre pouces de hauteur. C'eſt ce cylindre qui doit porter le verre convexe.

4. La planche mobile, ci-deſſus décrite, porte encore avec elle une boîte quarrée X, large d'environ ſept à huit pouces, & haute de dix, dont le devant peut s'ouvrir par une petite porte; & le derriere de la boîte a vers le bas une ouverture quarrée N, d'environ quatre pouces, qui peut, quand on le veut, ſe fermer par une petite planche mobile.

5. Au deſſus de cette ouverture quarrée, eſt une fente parallele à l'horizon, & qui tient toute la largeur de la boîte. Elle ſert à faire entrer dans la boîte un miroir plan qui gliſſe entre deux regles, enſorte que l'angle qu'il fait avec l'horizon du côté de la porte B, ſoit de $112° \frac{1}{2}$, ou de cinq quarts de droit.

6. Ce même miroir peut, quand on le veut, ſe placer perpendiculairement à l'horizon, comme on voit en H, au moyen d'une platine de fer adaptée ſur un de ſes côtés, & garnie d'une vis de fer, qu'on fait entrer dans une fente pratiquée au toit de la machine, & qu'on ſerre avec un écrou.

7. Au dedans de la boîte eſt un autre petit miroir LL, qui peut tourner ſur deux pivots ſis un peu au deſſus de la fente du n° 5, & qui étant tiré ou pouſſé par la petite verge S, peut prendre toutes les inclinaiſons qu'on voudra à l'horizon.

8. Pour avoir de l'air dans cette machine, on adaptera

adaptera à un des côtés le tuyau de fer-blanc recourbé vers les deux bouts, *fig. 8*, qui donnera accès à l'air ſans le donner à la lumiere. Si cela ne paroiſſoit pas ſuffiſant, on pourroit mettre ſous le ſiege un petit ſoufflet, qu'on feroit agir avec le pied. De cette maniere on pourra renouveller l'air continuellement. Voici préſentement les divers uſages de la machine. Pl. 2, fig. 8.

I. *Repréſenter les objets dans leur ſituation naturelle.*

Quand on voudra repréſenter les objets dans cette machine, on étendra un papier ſur la table, ou, ce qui eſt mieux, on en aura un bien tendu, & attaché ſur une planchette ou un carton fort, qu'on mettra ſur cette table, & qu'on y fixera ſolidement & invariablemement.

On garnira le cylindre C d'un verre convexe, dont le foyer ſoit à peu près à une diſtance égale à la hauteur de la machine au deſſus de la table; on ouvrira le derriere de la boîte X, & l'on ſupprimera le miroir H, ainſi que la planche F & les regles DE; enfin l'on inclinera le miroir mobile LL, enſorte qu'il faſſe avec l'horizon un angle à peu près de 45°, s'il s'agit de repréſenter des objets fort éloignés & formant le tableau perpendiculaire: alors tous les objets qui enverront des rayons ſur le miroir LL, qui peuvent être réfléchis ſur le verre convexe, ſe peindront ſur le papier; & l'on cherchera le point de la plus grande diſtinction, en élevant ou abaiſſant, par le moyen de la vis, le cylindre qui porte le verre convexe. Fig. 7.

On pourra, par ce moyen, repréſenter avec la plus grande vérité un payſage, une vue de ville, &c.

II. *Repréſenter les objets, en faiſant paroître à droite ce qui eſt à gauche, & au contraire.*

La boîte X étant dans la ſituation repréſentée dans la figure, il faut ouvrir la porte B, mettre le le miroir H dans la fente & la ſituation indiquée plus haut, n° 5, élever le miroir L L de maniere qu'il faſſe avec l'horizon un angle de $22° \frac{1}{2}$: alors, en tournant le devant de la machine du côté des objets à repréſenter, que nous ſuppoſons fort éloignés, on les verra peints ſur le papier, & ſeulement renverſés de droite à gauche.

Il ſera quelquefois utile de former un deſſin dans ce ſens; par exemple, ſi on ſe propoſoit de le faire graver; car la planche renverſant le deſſin de droite à gauche ſeulement, elle remettroit les objets dans leur poſition naturelle.

III. *Repréſenter tour-à-tour tous les objets qui ſont aux environs & autour de la machine.*

Il faut placer le miroir H verticalement, comme on le voit dans la figure, & le miroir L ſous un angle de 45°: alors, en faiſant tourner le premier verticalement, on verra ſucceſſivement ſe peindre ſur le papier les objets latéraux.

C'eſt une précaution néceſſaire que de couvrir le miroir H d'une boîte de carton, ouverte du côté des objets, comme auſſi du côté de l'ouverture N de la boîte X; car, ſi on laiſſoit le miroir entiérement expoſé, il réfléchiroit ſur le miroir L beaucoup de rayons latéraux qui affoibliroient conſidérablement la repréſentation.

IV. *Repréſenter des peintures ou des tailles-douces.*

Il faudra les attacher contre la planche F, du côté qui regarde le miroir L, & enſorte qu'elles ſoient éclairées par le ſoleil. Mais, comme alors l'objet ſera extrêmement proche, il faudra garnir le cylindre d'un verre d'un foyer dont la longueur ſoit à peu près la moitié de la hauteur de la machine au deſſus du papier; & alors, ſi la diſtance du tableau juſqu'au verre eſt égale à celle du verre juſqu'au papier, les objets du tableau ſeront peints ſur ce papier préciſément de la même grandeur.

On ſaiſira le point de diſtinction, en avançant ou reculant la planchette F, juſqu'à ce que la repréſentation ſoit bien diſtincte.

Il y a quelques attentions à avoir relativement à l'ouverture du verre convexe.

La premiere eſt qu'on peut ordinairement donner au verre la même ouverture qu'à une lunette de même longueur.

La ſeconde, qu'il faut diminuer cette ouverture lorſque les objets ſont fort éclairés, & au contraire.

La troiſieme, que les traits, paroiſſant plus diſtincts lorſque l'ouverture eſt petite que quand elle eſt plus grande, lorſqu'on voudra deſſiner, il faudra donner au verre la plus petite ouverture poſſible, avec cette précaution de ne pas trop exténuer la lumiere; c'eſt pourquoi il faudra avoir, pour ces différentes ouvertures, différents cercles de cuivre ou de carton noircis, qu'on emploiera ſuivant les circonſtances.

## PROBLÊME III.

*Expliquer la maniere dont ſe fait la viſion, & ſes principaux phénomenes.*

POUR expliquer comment l'on apperçoit les objets, il eſt néceſſaire de commencer par une deſcription de l'organe merveilleux qui ſert à cet uſage.

L'œil eſt un globe creux, formé par trois membranes qui enveloppent des humeurs de différentes denſités, & qui fait à l'égard des objets extérieurs l'effet d'une chambre obſcure. La plus extérieure de ces membranes eſt appellée la *ſclérotique*, & n'eſt qu'un prolongement de celle qui tapiſſe l'intérieur des paupieres. La ſeconde, qu'on nomme la *choroïde*, eſt une prolongation de la membrane qui couvre le nerf optique, ainſi que tous les autres nerfs. La troiſieme enfin, qui tapiſſe l'intérieur de l'œil, eſt une expanſion du nerf optique : c'eſt cette membrane toute nerveuſe qui eſt l'organe de la viſion ; car, quelques expériences qu'on ait alléguées pour attribuer cette fonction à la choroïde, on ne ſçauroit chercher le ſentiment ailleurs que dans les nerfs & dans les parties nerveuſes..

Au devant de l'œil, la ſclérotique change de nature, & prend une forme plus convexe que le globe de l'œil; c'eſt ce qu'on appelle la *cornée tranſparente*. La choroïde, en ſe prolongeant au deſſous de la cornée, doit conſéquemment laiſſer un petit vuide : c'eſt ce vuide qui forme la chambre antérieure de l'humeur aqueuſe. Ce prolongement de la choroïde vient ſe terminer à une ouverture circulaire, connue de tout le monde ſous le nom de la *prunelle*. La partie colorée qui envi-

ronne cette ouverture, eſt ce qu'on nomme l'*iris* ou l'*uvée:* elle eſt ſuſceptible d'extenſion & de reſſerrement, enſorte que, lorſqu'on eſt expoſé à une grande lumiere, l'ouverture de la prunelle ſe reſſerre; & au contraire elle ſe dilate, quand on eſt dans un endroit obſcur.

Cette ouverture de la prunelle eſt proprement l'ouverture de la chambre obſcure. Derriere elle eſt ſuſpendu, par un ligament circulaire, un corps tranſparent, & d'une certaine conſiſtance, fait en forme de lentille; c'eſt ce qu'on nomme le *cryſtallin*, lequel fait dans cette chambre obſcure naturelle, la fonction du verre que nous avons employé dans l'artificielle.

D'après cette deſcription, on voit qu'il reſte entre la cornée & le cryſtallin une ſorte de chambre, partagée à peu près en deux également par l'uvée, & une autre entre le cryſtallin & la rétine. La premiere eſt remplie d'une humeur tranſparente & ſemblable à de l'eau, d'où lui eſt venu le nom d'humeur *aqueuſe*. La ſeconde chambre eſt remplie d'une humeur dont la conſiſtance approche de celle du blanc d'œuf; on lui donne le nom de *vitrée*. La *fig.* 9 met ces différentes parties ſous les yeux. *a* eſt la ſclérotique, *b* la cornée, *c* la choroïde, *d* la rétine, *e* l'ouverture de la prunelle, *ff* l'uvée, *h* le cryſtallin, *ii* l'humeur aqueuſe, *kk* l'humeur vitrée, *l* le nerf optique. Pl. 3, fig. 9.

L'œil n'étant évidemment, ſelon la deſcription précédente, qu'une chambre obſcure, mais ſeulement plus compoſée que celle que nous avons déja décrite, il eſt aiſé de reconnoître que les objets extérieurs ſe peignent renverſés dans le fond de l'œil ſur la rétine; ce ſont ces images qui, affectant cette membrane nerveuſe, excitent dans

l'ame la perception de la lumiere, des couleurs & de la figure des objets. L'image eſt-elle diſtincte & vive, l'ame reçoit une perception vive & diſtincte; eſt-elle confuſe, obſcure, la perception que reçoit l'ame eſt de la même nature : c'eſt ce que l'expérience prouve ſuffiſamment. On s'aſſure aiſément de l'exiſtence de ces images, au moyen d'un œil d'animal, de mouton, par exemple; car ſi on en dépouille la partie poſtérieure, en ne laiſſant que la rétine, & qu'on préſente ſa cornée au trou d'une chambre obſcure, on verra les images des objets extérieurs qui ſe peindront au fond.

Mais comment, demandera-t-on peut-être, les images des objets étant renverſées, ne laiſſe-t-on pas de les voir droits? Cette queſtion n'en eſt une que pour ceux qui n'ont aucune idée métaphyſique. En effet, les idées que nous avons de la ſituation droite ou renverſée des objets à notre égard, ainſi que de leur diſtance, ne ſont que le réſultat des deux ſens de la vue & du tact, combinés. Du moment qu'on commence à faire uſage de la vue, on éprouve, au moyen du tact, que les objets qui affectent les parties ſupérieures de la rétine, ſont du côté de nos pieds relativement à ceux qui affectent les parties inférieures, que le tact apprend en être plus éloignées. De-là s'eſt établie la liaiſon conſtante de la ſenſation d'un objet qui affecte les parties ſupérieures de l'œil, avec l'idée de l'infériorité de cet objet.

Qu'eſt-ce enfin qu'être en bas? C'eſt être plus voiſin de la partie inférieure de notre corps. Or, dans la repréſentation d'un objet quelconque, la partie inférieure de cet objet peint ſon image plus près de celle de nos pieds que la partie ſupérieure; dans quelqu'endroit que ſe peigne l'image de nos

pieds dans la rétine, cette image eſt donc néceſſairement liée avec l'idée d'infériorité ; conſéquemment ce qui l'avoiſine le plus produit néceſſairement dans l'eſprit la même idée. Les deux bâtons de l'aveugle de Deſcartes ne ſervent de rien ici ; & certainement Deſcartes auroit dit les mêmes choſes, s'il n'avoit pas adopté les idées innées, que la métaphyſique moderne a proſcrites.

## PROBLÊME IV.

*Conſtruction d'un œil artificiel, propre à rendre ſenſible la raiſon de tous les phénomenes de la viſion.*

AD eſt une boule creuſe de bois, de cinq à ſix pouces de diametre, & formée de deux hémiſpheres qui ſe joignent enſemble en L M, & de maniere qu'ils puiſſent s'approcher & s'éloigner l'un de l'autre d'environ un demi-pouce. Le ſegment AB de l'hémiſphere antérieur eſt un verre d'égale épaiſſeur, comme un verre de montre, au deſſous duquel eſt un diaphragme percé au milieu d'un trou rond, d'environ ſix lignes de diametre. F eſt une lentille convexe des deux côtés, ſoutenue par un diaphragme, & ayant ſon foyer à la diſtance FE, lorſque les deux hémiſpheres ſont à leur diſtance moyenne. Enfin la partie DCE eſt formée par un verre d'égale épaiſſeur, & concentrique à la ſphere, dont la ſurface intérieure, au lieu d'être polie, eſt ſimplement doucie, de maniere à n'être qu'à moitié tranſparente. Voilà un œil artificiel, auquel il ne manque preſque que les humeurs aqueuſe & vitrée. On pourroit même, ſuivant la matiere dont il ſeroit formé, y repréſenter ces humeurs, en mettant dans la premiere chambre Pl. 3. fig. 10.

de l'eau commune, & dans la poſtérieure une eau chargée d'une forte ſolution de ſel. Mais cela eſt abſolument inutile pour les expériences que nous avons en vue.

On peut, au reſte, beaucoup ſimplifier cette petite machine, & la réduire à deux tuyaux d'un pouce & demi ou deux pouces de diametre, rentrants l'un dans l'autre. Le premier ou l'antérieur ſera garni à ſon ouverture d'un verre lenticulaire de trois pouces environ de foyer, dont on aura ſoin de ne laiſſer découvert que la partie la plus voiſine de l'axe, au moyen d'un cercle de carton, percé d'un trou d'un demi-pouce environ de largeur, dont on le couvrira. Le fond du ſecond tuyau ſera couvert d'un papier huilé, qui fera la fonction de la rétine. Le tout enfin ſera arrangé de maniere que la diſtance du verre au papier huilé puiſſe varier d'environ deux pouces à quatre, en enfonçant ou retirant les tuyaux. Il n'eſt perſonne qui ne puiſſe facilement & à peu de frais ſe procurer une pareille machine.

### PREMIERE EXPÉRIENCE.

Le verre ou le papier huilé étant préciſément au foyer du verre lenticulaire, ſi vous tournez la machine vers des objets fort éloignés, vous les verrez peints avec beaucoup de diſtinction ſur ce fond. Raccourciſſez ou allongez la machine, de ſorte que le fond ne ſoit plus au foyer du verre; vous ne verrez plus ces objets peints diſtinctement, mais confuſément.

### SECONDE EXPÉRIENCE.

Préſentez un flambeau, ou autre objet éclairé, à la machine, à une diſtance médiocre, comme

de trois ou quatre pieds, & faites enſorte qu'il ſoit peint diſtinctement, en rapprochant ou éloignant du verre le fond de la machine. Alors, ſi vous approchez davantage l'objet, il ceſſera d'être peint diſtinctement; mais vous aurez une image diſtincte en allongeant la machine. Au contraire, ſi vous éloignez l'objet à une diſtance conſidérable, il ceſſera d'être peint diſtinctement, & vous ne recouvrerez l'image diſtincte qu'en raccourciſſant la machine.

## TROISIEME EXPÉRIENCE.

Vous pourrez néanmoins, ſans toucher à la machine, vous procurer l'image diſtincte d'une autre maniere. En effet, dans le premier cas, préſentez à l'œil un verre concave, à une diſtance que vous trouverez en eſſayant; vous reverrez naître la diſtinction dans la peinture de l'objet. Dans le ſecond cas, préſentez-lui un verre convexe; vous produirez le même effet.

Ces expériences ſervent à expliquer de la maniere la plus ſenſible tous les phénomenes de la viſion, ainſi que l'origine des défauts auxquels la vue eſt ſujette, & les moyens par leſquels on y remédie.

On ne voit les objets diſtinctement, qu'autant que ces objets ſont peints avec diſtinction ſur la rétine; mais lorſque la conformation de l'œil eſt telle que les objets médiocrement diſtants ſont peints avec diſtinction, les objets beaucoup plus voiſins ou plus éloignés ne ſçauroient être peints diſtinctement. Dans le premier cas, le point de diſtinction de l'image eſt au-delà de la rétine; & ſi l'on peut changer la forme de ſon œil, de maniere à éloigner la rétine de ce point ou le cryſ-

tallin de la rétine, on a l'image diſtincte. Dans le ſecond cas, c'eſt le contraire; le point de diſtinction de l'image eſt en deçà de la rétine, & il faut, pour avoir la ſenſation diſtincte, avancer la rétine vers le cryſtallin, ou le cryſtallin vers la rétine. Auſſi l'expérience apprend-elle que, dans l'un ou l'autre cas, il ſe paſſe un changement qui, même ſouvent, ne ſe fait pas ſans effort. Au reſte, en quoi conſiſte ce changement? Eſt-ce dans un allongement ou un applatiſſement de l'œil? eſt-ce dans un déplacement du cryſtallin? C'eſt ce qui n'eſt pas encore entiérement éclairci.

Il y a dans les vues deux défauts oppoſés: l'un conſiſte à ne voir diſtinctement que les objets éloignés; & comme c'eſt ordinairement le défaut des vieillards, on appelle *presbytes* ceux qui en ſont attaqués: l'autre conſiſte à ne voir diſtinctement que les objets fort proches; on les nomme *myopes*.

La cauſe du premier de ces défauts eſt une conformation de l'œil, qui fait que les objets voiſins ne peignent leur image diſtincte qu'au-delà de la rétine. Or l'image des objets éloignés eſt plus proche que celle des objets voiſins ou médiocrement diſtants: l'image de ceux-là pourra donc tomber ſur la rétine, & l'on aura la viſion diſtincte des objets éloignés, tandis qu'on verra confuſément les objets proches.

Mais ſi l'on veut rendre diſtincte la viſion des objets proches, il n'y aura qu'à ſe ſervir d'un verre convexe, comme on a vu dans la troiſieme expérience; car un verre convexe, en hâtant la réunion des rayons, rapproche l'image diſtincte des objets; conſéquemment il produira ſur la rétine une image diſtincte, qui ſans lui n'eût été peinte qu'au-delà.

Ce ſera tout le contraire à l'égard des myopes. Le défaut de leur vue conſiſtant dans une conformation de l'œil qui réunit trop tôt les rayons, & fait que le point de diſtinction de l'image des objets médiocrement éloignés, eſt en deçà de la rétine, ils recevront du ſecours des verres concaves interpoſés entre leur vue & l'objet; car ces verres, en faiſant diverger les rayons, éloignent l'image diſtincte ſuivant la troiſieme expérience: ainſi l'image diſtincte des objets, qui ſe fût peinte en deçà de la rétine, s'y peindra diſtinctement lorſqu'on ſe ſervira d'un verre concave.

Les myopes diſcerneront en outre mieux les petits objets à portée de leur vue, que les presbytes ou les gens doués d'une vue ordinaire; car un objet placé à une plus petite diſtance de l'œil, peint dans ſon fond une plus grande image, à peu près en raiſon réciproque de la diſtance. Ainſi un myope qui voit diſtinctement un objet placé à ſix pouces de diſtance, reçoit dans le fond de l'œil une image trois fois auſſi grande que celle qui ſe peint dans l'œil de celui qui ne voit diſtinctement qu'à dix-huit pouces; conſéquemment toutes les petites parties de cet objet ſeront groſſies proportionnellement, & ſeront ſenſibles au myope, tandis qu'elles échapperont au presbyte. Si un myope l'étoit au point de ne voir diſtinctement qu'à un demi-pouce de diſtance, il verroit les objets ſeize fois plus gros que les vues ordinaires, dont la limite de diſtinction eſt de huit pouces environ: ſon œil ſeroit un excellent microſcope, & il diſcerneroit des choſes dans les objets que les vues communes n'y voient qu'à l'aide de cet inſtrument.

## PROBLÊME V.

*Faire qu'un objet, vu de loin ou de près, paroiſſe toujours de la même grandeur.*

L'APPARENCE des objets eſt, toutes choſes d'ailleurs égales, d'autant plus grande, que l'image de l'objet, peinte ſur la rétine, occupe un plus grand eſpace. Or l'eſpace qu'occupe une image ſur la rétine, eſt à peu près proportionnelle à l'angle que forment les rayons des extrémités de l'objet, comme il eſt aiſé de voir par la ſeule inſpection de la *fig. 11*; conſéquemment c'eſt, toutes choſes d'ailleurs égales, de la grandeur de l'angle formé par les rayons extrêmes de l'objet qui ſe croiſent dans l'œil, que dépend la grandeur apparente de cet objet.

Pl. 3, fig. 11. Cela poſé, ſoit l'objet AB, qu'il eſt queſtion de voir de différentes diſtances, & toujours ſous le même angle. Sur AB, comme corde, décrivez un arc de cercle quelconque, comme ACDB; de tous les points de cet arc, comme A, C, D, B, vous verrez l'objet AB ſous le même angle, & conſéquemment de la même grandeur; car tout le monde ſçait que les angles ayant AB pour baſe, & leur ſommet dans le ſegment ACDB, ſont égaux.

Il en ſera de même d'un autre arc quelconque, comme A *c d* B.

## PROBLÊME VI.

*Deux parties inégales d'une même ligne droite étant données, ſoit qu'elles ſoient adjacentes ou non, trouver le point d'où elles paroîtront égales.*

Fig. 12. SUR AB & BC, formez du même côté les deux triangles iſoſceles ſemblables AFB, BGC; puis

du centre F avec le rayon FB, décrivez un cercle, & du point G avec le rayon GB, décrivez-en un autre qui coupera le premier en D; ce point D ſera le point cherché.

Car les arcs de cercle AEDB, BD*e*C, ſont ſemblables par la conſtruction; d'où il ſuit que l'angle ADB eſt égal à BDC, puiſque le point D appartient à-la-fois aux deux arcs.

*REMARQUES.*

1. IL y a une infinité de points comme D, qui ſatisfont au problême, & on démontre que tous ces points ſont dans la circonférence d'un demi-cercle tracé du centre I. Ce centre ſe trouve en menant par les ſommets F & G des triangles ſemblables AFB, BGC, la ligne FG juſqu'à ſa rencontre en I avec AC prolongée.

2. Si les lignes AB, BC, faiſoient un angle, la ſolution du problême ſeroit toujours la même: les deux arcs de cercle ſemblables, décrits ſur AB, BC, ſe couperont néceſſairement en quelque point D, (à moins qu'ils ne ſe touchent en B,) & ce point D donnera également la ſolution du problême.

3. La ſolution du problême ſera encore la même, ſi les lignes inégales AB, *b*C propoſées, ne ſont pas contiguës: il y aura ſeulement cette attention à avoir, ſçavoir, que les rayons FB, G*b* des deux cercles, ſoient tels que ces cercles puiſſent au moins ſe toucher l'un l'autre. Si l'on nomme AB$=a$, B*b*$=c$, *b*C$=b$, il faudra, pour que les deux cercles ſe touchent, que FB ſoit au moins$=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{ac^2+a^2c+abc}{b}}$, & G*b*$=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{bc^2+b^2c+abc}{a}}$. Pl. 4, fig. 13.

Si ces lignes ſont moindres, les deux cercles ne ſe toucheront ni ne ſe couperont point. Si elles ſont plus grandes, les cercles ſe couperont en deux points, qui donneront chacun une ſolution du problême. Que $a$ ſoit, par exemple, $= 3$, $b = 2$, $c = 1$; on trouvera $FB = \frac{3}{2}$ & $Gb = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{14}{3}}$.

Pl. 4, fig. 14. 4. Suppoſons enfin trois lignes inégales & contiguës, comme AB, BC, CD, & qu'on propoſe de trouver un point duquel elles paroiſſent toutes trois ſous le même angle. Trouvez, par l'article premier de cette remarque, la circonférence BEF, &c. des points de laquelle les lignes AB, BC, paroiſſent ſous le même angle; trouvez pareillement celle CEG, de laquelle BC & CD paroiſſent ſous le même angle: leur interſection donnera le point cherché. Mais pour que ces deux demi-cercles ſe touchent, il faut, ou que la plus petite des lignes données ſoit au milieu des deux autres, ou qu'elles ſe ſuivent dans cet ordre, la plus grande, la moyenne, & la moindre.

Si les lignes AB, BC, CD, ne ſont pas contiguës ou en ligne droite, le problême devient trop difficile pour trouver place ici. Nous l'abandonnerons à la ſagacité de ceux de nos lecteurs qui ſont le plus avancés.

## PROBLÊME VII.

*Au devant d'un édifice, dont CD eſt la face, eſt un parterre dont la longueur eſt AB. On demande le point de cet édifice d'où l'on verra le parterre AB le plus grand.*

Fig. 15. SOIT faite la hauteur CE, moyenne proportionnelle entre CB & CA, ce ſera la hauteur cherchée; car, ſi l'on décrit par les points A, B, E,

un cercle, il ſera tangent à la ligne CE, par la propriété ſi connue des tangentes & ſécantes. Or il eſt aiſé de voir que l'angle AEB eſt plus grand qu'aucun autre A*e*B, dont le ſommet eſt dans la ligne CD; car l'angle A*e*B eſt moindre que A*g*B, qui eſt égal à AEB.

## PROBLÊME VIII.

*Un cercle étant donné ſur le plan horizontal, trouver la poſition de l'œil d'où ſon image ſur le plan perſpectif ſera encore un cercle.*

NOUS ſuppoſons que notre lecteur connoiſſe le principe fondamental de toute repréſentation perſpective, qui conſiſte à imaginer entre l'œil & l'objet un plan vertical que l'on nomme *perſpectif*. On conçoit de chaque point de l'objet des rayons allants à l'œil: ſi ces rayons laiſſoient une trace ſur le plan vertical ou perſpectif, il eſt évident qu'elle produiroit la même ſenſation ſur cet œil que l'objet même, puiſqu'ils peindroient la même image ſur la rétine. C'eſt cette trace qu'on appelle l'*image perſpective*.

Soit donc AC le diametre du cercle dans le plan horizontal, ACP la perpendiculaire au plan perſpectif, QR la coupe de ce plan, par un plan vertical élevé ſur AP, & PO la perpendiculaire à l'horizon & à la ligne AP, ſur laquelle il eſt queſtion de trouver le point O, que l'œil doit occuper pour que la repréſentation *ac* du cercle AC ſoit auſſi un cercle. Pl. 4, fig. 16.

Pour cet effet, faites PO moyenne proportionnelle entre AP & CP, le point O ſera le point cherché.

Car ſi AP : PO comme PO : CP les triangles

PAO, COP, ſeront ſemblables, & les angles PAO, COP, ſeront égaux : donc les angles PAO & C*c*Q, ou PAO & R*c*O, ſeront auſſi égaux : d'où il ſuit que dans le petit triangle *a c* O, l'angle en *c* ſera égal à l'angle OAC, & l'angle en O étant commun aux triangles AOC, *a* O *c*, les deux autres ACO, *c a* O ſeront égaux : donc AO ſera à CO comme *c*O à *a* O : ainſi le cône oblique ACO ſera coupé ſub-contrairement par le plan vertical QR, & conſéquemment la nouvelle ſection ſera un cercle, comme on le démontre dans les ſections coniques.

## PROBLÊME IX.

*D'où vient l'image du ſoleil, reçue dans la chambre obſcure par un trou quarré ou triangulaire, eſt-elle toujours un cercle ?*

ARISTOTE ſe propoſoit autrefois ce problême, & le réſolvoit fort mal ; car il diſoit que cela venoit de ce que les rayons du ſoleil affectoient une certaine rondeur, qu'ils reprenoient dès qu'ils avoient ſurmonté la gêne que leur avoit oppoſée le trou différemment figuré. Cette raiſon n'a aucun fondement ni ſolidité.

Pour rendre raiſon de ce phénomene, il faut faire attention qu'un objet quelconque, lumineux ou éclairé, rayonnant par un très-petit trou dans la chambre obſcure, y peint une image ſemblable à lui-même ; car tous les rayons partants de cet objet, & paſſants par un même point, forment au-delà une eſpece de pyramide ſemblable à la premiere, & oppoſée par le ſommet, qui étant coupée par un plan parallele à celui de l'objet, doit donner la même figure, mais ſeulement renverſée.

Cela

Cela entendu, on ſent aiſément que chaque point du trou triangulaire, par exemple, peint ſur le carton ou ſur le pavé ſon image ſolaire ronde, & d'autant plus grande que le carton ſera plus éloigné du trou; car il n'eſt aucun de ces points qui ne ſoit le ſommet d'un cône dont le diſque ſolaire eſt la baſe.

Qu'on décrive donc ſur un papier une figure ſemblable & égale à celle du trou, triangulaire par exemple, ſi le trou eſt triangulaire; que de tous les points de ſon contour, comme centre, on décrive des cercles égaux: quand ces cercles ſeront petits, vous n'aurez d'abord qu'une figure triangulaire, à angles émouſſés circulairement: mais augmentez ces cercles de plus en plus, enſorte que leur rayon ſoit beaucoup plus grand qu'aucune des dimenſions de la figure; vous la verrez s'arrondir de plus en plus, & enfin dégénérer ſenſiblement en un cercle.

Or c'eſt là ce qui arrive dans la chambre obſcure; car, quand vous préſentez le carton aſſez près du trou triangulaire, vous n'avez encore qu'une image mêlée du triangle & du cercle: mais quand vous vous éloignez beaucoup, alors chaque image circulaire du ſoleil devenant fort grande, eu égard au diametre du trou, l'image eſt ſenſiblement ronde. Si le diſque du ſoleil étoit quarré & le trou rond, l'image ſeroit, à une certaine diſtance & par la même raiſon, un quarré, ou en général de la même figure que le diſque. Auſſi l'image de la lune en croiſſant, eſt-elle toujours, à une diſtance ſuffiſante, un croiſſant ſemblable, ainſi que le montre l'expérience.

## PROBLÊME X.

*Faire voir distinctement, sans l'interposition d'aucun verre, un objet trop proche de l'œil pour être apperçu distinctement.*

PERCEZ une carte avec une aiguille ; & sans changer de place, ni l'œil, ni l'objet, regardez ce dernier par le trou de cette carte ; vous verrez cet objet très-distinctement, & même considérablement grossi.

La raison de cette apparence est que, lorsqu'on ne voit pas distinctement un objet à cause de sa trop grande proximité, c'est que les rayons partants de chacun de ses points, & tombants sur l'ouverture de la prunelle, ne sont pas réunis en un point, comme lorsque l'objet est à la distance convenable : l'image de chaque point est un petit cercle, & tous les petits cercles produits par les points divers de l'objet, empiétant les uns sur les autres, toute distinction est détruite. Mais lorsqu'on regarde l'objet à travers un très-petit trou, chaque pinceau de rayons qui part de chaque point de l'objet, n'a de diametre que le diametre du trou, & par conséquent l'image de ce point est considérablement resserrée dans une étendue qui surpasse à peine la grandeur qu'elle auroit si l'objet étoit à la distance nécessaire : on doit donc le voir distinctement.

## PROBLÊME XI.

*Pourquoi, en dirigeant ses yeux de maniere à voir un objet fort éloigné, voit-on doubles les objets proches ; & au contraire ?*

LA raison de cette apparence est celle-ci. Lorsque nous regardons un objet, nous prenons l'habi-

tude de diriger l'axe optique de nos yeux vers le point que nous conſidérons principalement : les images des objets étant d'ailleurs entiérement ſemblables, il réſulte de-là que ſe peignant à l'entour de ce point principal de la rétine, auquel aboutit l'axe optique, les parties latérales, par exemple droites, d'un objet, ſe peignent dans chaque œil à gauche, & les parties gauches ſe peignent à droite de cet axe. De-là s'eſt établie une correſpondance entre ces parties de l'œil, qui eſt telle que lorſqu'un objet ſe peint à-la-fois dans la partie gauche de chaque œil, & à un même éloignement de l'axe optique, nous le jugeons unique & à droite : mais ſi, par un mouvement forcé des yeux, nous faiſons enſorte qu'un objet peigne dans un œil ſon image à droite de l'axe optique, & dans l'autre à gauche, nous le voyons double. Or c'eſt ce qui arrive lorſque, dirigeant ſa vue ſur un objet éloigné, nous donnons néanmoins attention à un objet voiſin & ſitué entre les axes optiques : il eſt aiſé de voir que les deux images qui ſe forment dans les deux yeux ſont placées l'une à droite & l'autre à gauche de l'axe optique, ſçavoir, dans l'œil droit à droite, & à gauche dans l'œil gauche : c'eſt le contraire ſi l'on dirige l'axe optique à un objet proche, & qu'on donne attention à un objet éloigné & direct. On doit donc, par un effet de l'habitude dont on a parlé ci-deſſus, juger cet objet à droite par un œil, & à gauche par l'autre. Les deux yeux enfin ſont alors en contradiction, & l'objet paroît double.

Cette explication, qui eſt d'ailleurs entiérement fondée ſur la maniere dont nous acquérons des idées par la vue, eſt encore confirmée par le fait ſuivant. Cheſelden, fameux chirurgien Anglois,

raconte qu'un coup ayant dérangé à un homme l'un de ſes yeux, enſorte qu'il ne pouvoit plus diriger l'axe optique de tous deux vers un même point, cet homme vit tout-à-coup double : mais cette incommodité ne fut pas perpétuelle ; peu à peu les objets les plus familiers lui parurent ſimples, & enfin ſa vue ſe rétablit dans ſon état naturel.

Ce qui ſe paſſe ici à l'égard de la vue, on l'imite par le tact ; car lorſque deux parties du corps, qui ne ſe correſpondent pas habituellement pour palper un objet unique, ſont employées à toucher un même corps, nous le jugeons double. C'eſt une expérience vulgaire. On croiſe un des doigts ſur l'autre, & l'on inſere entre-deux quelque petit corps, un bouton, par exemple, enſorte qu'il ſoit touché à la fois par le côté gauche de l'un & le droit de l'autre ; on jureroit alors palper un double bouton. L'explication de ce petit jeu tient aux mêmes principes.

## PROBLÊME XII.

*Faire qu'un objet vu diſtinctement, & ſans l'interpoſition d'aucun corps opaque ou diaphane, paroiſſe renverſé à l'œil nu.*

Pl. 4, fig. 17. FAITES-VOUS une petite machine, telle qu'elle eſt repréſentée dans la *fig. 17*. Cette machine eſt compoſée de deux petites lames paralleles, AB, CD, réunies par une troiſieme AC, d'un demi-pouce de largeur, & d'un pouce & demi de longueur. Cela peut être facilement fait avec une carte. Au milieu de la lame AB, percez un trou rond, E, d'une ligne & demie environ de diametre, au milieu duquel vous fixerez une tête d'é-

pingle ou une pointe d'aiguille, comme on voit dans la figure; vis-à-vis ſoit percé un trou de groſſe épingle : lorſque vous appliquerez l'œil en E, en tournant le trou F du côté de la lumiere, ou de la flamme d'une bougie, vous verrez la tête de cette épingle extrêmement groſſie, & renverſée comme on la voit en G.

La raiſon de cette inverſion eſt que la tête de l'épingle étant exceſſivement proche de la prunelle, & les rayons qui partent du point F étant auſſi fort divergents à cauſe de la proximité du trou F, au lieu d'une image diſtincte & renverſée, il ne ſe peint au fond de l'œil qu'une eſpece d'ombre dans ſa ſituation droite. Or les images renverſées donnent l'idée d'un objet droit; conſéquemment cette eſpece d'image étant droite, doit donner l'idée d'un objet renverſé.

## PROBLÊME XIII.

*Faire qu'un objet, ſans l'interpoſition d'aucun autre, diſparoiſſe à l'œil nu tourné de ſon côté.*

CETTE expérience eſt de M. Mariotte; & quoiqu'on n'ait pas adopté les conſéquences qu'il en tiroit, elle n'en eſt pas moins ſinguliere, & elle ſemble prouver un fait particulier dans l'économie animale.

Fixez à la hauteur de l'œil, ſur un fond obſcur, un petit rond de papier blanc pour ſervir de point fixe; & à deux pieds vers la droite, un peu plus bas, fixez-en un autre de trois pouces environ de diametre; placez-vous enſuite en face du premier papier, & après avoir fermé l'œil gauche, retirez-vous en arriere, en fixant toujours ce premier objet : lorſque vous ſerez arrivé à une diſtance de

neuf à dix pieds, le ſecond diſparoîtra entiérement à votre vue.

On rend raiſon de cette expérience, en obſervant que lorſqu'on eſt parvenu à l'éloignement ſuſdit, l'image du ſecond papier tombe ſur l'inſertion du nerf optique dans l'œil, & qu'apparemment cet endroit de la rétine n'eſt pas propre à tranſmettre l'impreſſion des objets; car, tandis que dans le reſte de la rétine les fibres nerveuſes ſont frappées directement ſur le côté par les rayons venants des objets, ici elles le ſont tout-à-fait obliquement, & comme en gliſſant ſur leur longueur; ce qui anéantit le choc de la particule de lumiere.

## PROBLÊME XIV.

*Faire diſparoître un objet aux deux yeux à-la-fois, quoiqu'il puiſſe être vu de chacun d'eux à part.*

ATTACHEZ à une muraille brune un rond de papier blanc, d'un pouce ou deux de diametre, & à la diſtance de deux pieds de chaque côté, & un peu plus bas, faites deux marques; placez-vous enſuite directement en face du papier, & placez le bout de votre doigt vis-à-vis de vos deux yeux, de maniere qu'ayant l'œil droit ſeul ouvert, il cache la marque gauche, & qu'ayant le ſeul gauche ouvert, il cache la marque droite; regardez enſuite de vos deux yeux le bout de votre doigt: le papier, qui n'en eſt point du tout couvert, ni pour l'un ni pour l'autre de vos yeux, diſparoîtra néanmoins.

Cette expérience reçoit la même explication que la précédente; car, par ce moyen, on fait tomber l'image du papier ſur l'inſertion du nerf

optique de chaque œil : de-là vient la diſparition de l'objet pour chacun.

## PROBLÊME XV.

*Jeu optique, qui prouve qu'avec un ſeul œil on ne juge pas bien de la diſtance d'un objet.*

ON préſente à quelqu'un, ou l'on place un anneau à quelque diſtance, & de maniere que ſon plan ſoit tourné du côté de ſes yeux ; on lui propoſe enſuite de l'enfiler avec un bâton recourbé, aſſez long pour l'atteindre, & en tenant un de ſes yeux fermés. Il eſt rare qu'il en vienne à bout.

On donne facilement la raiſon de cette difficulté : elle réſide en ce que nous ſommes habitués à juger des diſtances des objets au moyen de nos deux yeux ; mais lorſque nous ne faiſons uſage que d'un, alors nous en jugeons fort imparfaitement.

Un homme borgne n'éprouveroit pas la même difficulté, parceque, accoutumé à ne faire uſage que d'un œil, il a acquis l'habitude de juger aſſez exactement les diſtances.

## PROBLÊME XVI.

*Un aveugle de naiſſance ayant recouvré la vue, on lui préſente un globe & un cube, qu'il a appris à diſcerner par le toucher. On demande ſi, ſans le ſecours du tact & à la premiere vue, il pourra dire quel eſt le cube, quel eſt le globe.*

C'EST là le fameux problême de M. Molineux, problême propoſé à Locke, & qui a fort exercé les métaphyſiciens.

L'un & l'autre ont penſé avec raiſon, & c'eſt

le ſentiment général, que l'aveugle devenu clairvoyant, ne ſçauroit reconnoître le cube d'avec le globe, du moins ſans le ſecours du raiſonnement. En effet, comme le dit M. Molineux, quoique cet aveugle ait appris par l'expérience de quelle maniere le cube & le globe affectoient ſon tact, il ne ſçait point encore comment ce qui affecte le tact affectera la vue, ni que l'angle ſaillant qui preſſe inégalement la main lorſqu'il palpe le cube, doive paroître à ſes yeux tel qu'il paroît à ſon tact. Il n'y a donc aucun moyen pour lui de diſcerner le globe du cube.

Tout au plus pourroit-il faire le raiſonnement ſuivant, en examinant avec attention & de côté & d'autre ces deux corps. De quelque côté que je palpe le globe, diroit-il, je le trouve abſolument ſemblable à lui-même; toutes ſes faces, relativement à mon tact, ſont les mêmes; un de ces corps, entre leſquels je dois reconnoître le globe, préſente, de quelque côté que je le regarde, la même figure, la même face: ce doit donc être le globe. Mais ce raiſonnement, qui ſuppoſe d'ailleurs une ſorte d'analogie entre les ſens du tact & de la vue, n'eſt-il pas un peu trop ſçavant pour un aveugle né? Ce ſeroit tout au plus ce que pourroit faire un Saunderſon. Ce n'eſt pas au reſte ici le lieu de traiter cette queſtion; elle l'a été par Molineux, Locke, & par la plupart des métaphyſiciens modernes.

Ce que l'on obſerva à la guériſon de l'aveugle de Cheſelden, a depuis confirmé la juſteſſe de la ſolution de MM. Locke & Molineux. Le célebre chirurgien Cheſelden ayant rendu la vue à un aveugle de naiſſance, on obſerva avec grande attention les impreſſions qu'éprouva cet aveugle

dans les premiers temps de ſa guériſon. En voici le précis.

Lorſqu'il commença à jouir de la vue, il crut d'abord que tous les objets touchoient ſon œil, comme ceux qu'il connoiſſoit par le tact touchoient ſa peau. Il ne connoiſſoit aucune figure, & il ne pouvoit diſtinguer un corps d'avec un autre. Il étoit dans l'idée que les corps doux & polis, qui affectoient agréablement ſon toucher, devoient auſſi affecter agréablement ſes yeux; & il fut fort ſurpris de ce que ces deux choſes n'avoient aucune liaiſon. Enfin il s'écoula quelques mois avant qu'il pût rien reconnoître dans un tableau; il ne lui parut long-temps qu'une ſurface barbouillée de couleurs; auſſi fut-il étrangement étonné, lorſqu'enfin il reconnut ſon pere dans un portrait en miniature: il ne pouvoit comprendre comme on avoit pu mettre un grand viſage dans un ſi petit eſpace; & cela lui paroiſſoit auſſi impoſſible, ſelon l'expreſſion de l'auteur Anglois, que de faire entrer un tonneau de liqueur dans une pinte.

## PROBLÊME XVII.

*Conſtruction d'une machine au moyen de laquelle on pourra décrire perſpectivement tous les objets donnés, ſans la moindre teinture de la ſcience de la perſpective.*

L'ESPRIT de cette machine conſiſte à faire décrire à la pointe d'un crayon qui s'applique continuellement contre un papier, une ligne parallele à celle d'un point qu'on promene ſur les linéaments des objets, l'œil étant fixe, & regardant par une pinnule immobile. Pl. 5,

Les regles SG, SG, ſont deux regles perpendi- fig. 18.

Pl. 5, fig. 18. culaires à une forte piece de bois, avec laquelle elles forment une eſpece d'empatement, qui ſert à ſoutenir perpendiculairement une planche un peu forte T T T T, ſur laquelle on attache ou colle par les quatre coins la feuille de papier où l'on veut tracer ſon tableau perſpectif.

F E eſt une regle tranſverſale, qui eſt perpendiculaire aux deux pieces SG, SG, & qui porte à ſon extrémité une autre piece KD, qui peut tourner ſur l'axe en K. A cette piece eſt implantée une barre de bois perpendiculaire, DC, portant la pinnule mobile B A, à laquelle on applique l'œil.

La piece N P eſt une piece de bois mobile, & portant à ſon extrémité le poinçon délié terminé par un petit bouton. Vers les deux extrémités de cette piece ſont attachées deux poulies, ſous leſquelles paſſent les deux fils ou petits cordons déliés M, M, qui de-là vont paſſer au deſſus des poulies L, L, attachées aux deux coins du bâtis T T. Ces deux cordons, après avoir paſſé ſur ces deux poulies, vont s'enrouler ſur deux autres en R, R, qui les renvoient derriere le bâtis, où ils s'attachent à un poids Q qui coule dans une rainure, enſorte que le poids Q, s'élevant ou s'abaiſſant, la piece mobile NP reſte toujours dans une ſituation parallele à elle-même. Elle doit être à peu de choſe près en équilibre avec le poids, pour qu'en la ſoulevant ou l'abaiſſant un peu, elle cede facilement à tous ces mouvements. Cette piece enfin porte dans ſon milieu le ſtyle ou crayon I.

On ſent préſentement que ſi l'on applique l'œil au trou A, & qu'on amene avec la main la regle mobile NP, en la ſoulevant, l'abaiſſant, & la

menant de côté, enſorte que le bout P parcoure les linéaments d'un objet éloigné, la pointe du crayon I décrira néceſſairement une ligne parallele & égale à celle que décrit le point P, & par conſéquent elle tracera ſur le papier O O, contre lequel elle appuie, l'image de l'objet dans toute l'exactitude perſpective.

Cette machine eſt du chevalier Wren, mathématicien célebre, & l'architecte qui a conſtruit Saint-Paul de Londres. Mais ſi l'on vouloit, ſans le ſecours de cette machine, mettre bien régulièrement en perſpective un objet quelconque, nous allons en enſeigner le moyen fort ſimple dans le problême ſuivant.

## PROBLÊME XVIII.

*Autre maniere de repréſenter un objet en perſpective, ſans aucune connoiſſance des principes de cet art.*

CETTE maniere de repréſenter un objet perſpectivement, n'exige, non plus que la précédente, aucune connoiſſance des regles de la perſpective; & l'eſpece de machine qu'on y emploie eſt incomparablement plus ſimple: mais elle ſuppoſe qu'on ſçache bien deſſiner, du moins aſſez pour rendre dans un petit eſpace ce qu'on apperçoit dans un autre ſemblable.

Pour la pratiquer, il faut former un cadre de la grandeur ſuffiſante pour que, regardant d'un point déterminé l'objet à repréſenter, il ſoit contenu dans ſon étendue. Vous fixerez enſuite la place de l'œil au devant de ce cadre & à l'égard de ſon plan, comme vous le jugerez à propos. La poſition la plus convenable, à moins que vous n'ayiez deſſein de faire un tableau un peu bizarre

par la poſition des objets, doit être ſur une ligne perpendiculaire au milieu du plan du cadre, à une diſtance à peu près égale à ſa largeur, & à une hauteur à peu près égale aux deux tiers de la hauteur du même cadre. Cette place doit être marquée par une pinnule, ou un trou d'une ou de deux lignes de diametre, percée au milieu d'un plan vertical, circulaire ou quarré, d'un pouce ou deux de largeur. Enfin vous diviſerez le champ de ce cadre en quarrés d'un pouce ou de deux de côté, par des filets tendus entre les côtés, & ſe coupant perpendiculairement les uns les autres.

Préparez enfin un papier, ſur lequel vous tracerez une figure ſemblable à celle du cadre, & que vous diviſerez par des traits foibles, mais néanmoins ſenſibles, en un même nombre de carreaux que le champ du cadre: tout ſera préparé pour votre tableau perſpectif.

Vous n'avez en effet qu'à préſenter l'œil à la pinnule dont nous avons parlé plus haut, & tranſporter dans chaque quarré du papier ci-deſſus, la partie de l'objet qu'on apperçoit dans le carreau correſpondant, vous aurez néceſſairement cet objet mis en perſpective avec toute l'exactitude poſſible; car il eſt évident qu'il ſera repréſenté tel qu'il paroît à l'œil, & que le tableau que l'on aura deſſiné ſera parfaitement ſemblable à celui qui reſteroit ſur le plan du cadre, ſi les rayons allant de chaque point de l'objet à l'œil ou à la pinnule, laiſſoient ſur ce plan une trace. On aura donc cet objet, ou ce ſyſtême d'objets, mis en perſpective avec toute la vérité qu'on peut deſirer.

### *REMARQUE.*

Ce même moyen peut ſervir à ſe démontrer

ſenſiblement, & ſans la moindre connoiſſance de géométrie, la vérité de la plupart des regles de la perſpective ; car ſi vous placez derriere le cadre une ligne droite perpendiculaire à ſon plan, vous verrez ſon image paſſer par le point de vue, ou celui du plan du cadre qui répond à la perpendiculaire abaiſſée de l'œil ſur ce plan. Si vous placez cette ligne horizontalement, & que vous lui faſſiez faire un angle de 45° avec le plan du tableau, vous verrez ſon image paſſer par l'un des points qu'on nomme les *points de diſtance*. Si vous mettez cette ligne dans une ſituation quelconque, vous verrez ſon image concourir dans l'un des points accidentaux. Or c'eſt dans ces trois regles que conſiſte preſque toute la perſpective.

## PROBLÊME XIX.

*De la grandeur apparente des aſtres à l'horizon.*

C'EST un phénomene fort connu, que la lune & le ſoleil, lorſqu'ils ſont voiſins de l'horizon, paroiſſent beaucoup plus grands que lorſqu'ils ſont à une hauteur moyenne ou près du zénith. Ce phénomene a beaucoup occupé les phyſiciens, & quelques-uns d'eux en ont donné de fort mauvaiſes explications.

En effet, ceux qui raiſonnent ſuperficiellement ſur ce ſujet, croient en avoir trouvé la cauſe, & une cauſe fort ſimple, dans la réfraction ; car, diſent-ils, ſi l'on regarde obliquement un écu plongé dans un vaſe plein d'eau, on le voit ſenſiblement plus gros. Or tout le monde ſçait que les rayons qui nous viennent des corps céleſtes, éprouvent une réfraction en entrant dans l'athmoſphere de la terre. Le ſoleil & la lune ſont donc

comme l'écu plongé dans l'eau ; & voilà le problême réſolu.

Mais ceux qui font ce raiſonnement ne font pas attention que ſi un écu plongé dans un milieu plus denſe, paroît groſſi à l'œil ſitué dans un milieu plus rare, ce doit être le contraire d'un écu plongé dans un milieu plus rare pour un œil plongé dans le plus denſe. Un poiſſon verroit cet écu hors de l'eau, plus petit que s'il étoit dans l'eau. Or nous ſommes dans la partie la plus denſe de l'athmoſphere, tandis que la lune & le ſoleil ſont dans le milieu plus rare. Ainſi, loin de paroître plus gros, ils devroient paroître plus petits ; & c'eſt auſſi ce que confirment les inſtruments qui ſervent à meſurer le diametre apparent des aſtres : ils démontrent que le diametre perpendiculaire de la lune & du ſoleil à l'horizon, ſont rétrécis d'environ deux minutes ; ce qui leur donne la forme ovale aſſez apparente qu'ils ont le plus ſouvent.

Il faut donc rechercher la cauſe du phénomene dans une pure illuſion optique ; & voici, à mon gré, ce qu'il y a de plus probable.

Lorſqu'un objet peint dans notre rétine une image d'une grandeur déterminée, cet objet nous paroît d'autant plus grand que nous le jugeons plus éloigné, & c'eſt en vertu d'un raiſonnement tacite aſſez juſte ; car un objet qui à la diſtance de cent toiſes eſt peint dans l'œil ſous un diametre d'une ligne, doit être bien plus grand que celui qui eſt peint ſous un pareil diametre, & qui n'eſt qu'à vingt toiſes. Or, quand la lune & le ſoleil ſont à l'horizon, une multitude d'objets interpoſés nous donnent l'idée d'une grande diſtance, au lieu que lorſqu'ils ſont près du zénith, nul objet n'étant

interposé, ils paroissent plus voisins. Ils doivent donc, dans la premiere situation, exciter un sentiment de grandeur tout autre que dans la seconde.

Nous ne devons cependant pas dissimuler quelques difficultés que présente cette explication ; les voici. 1° Lorsqu'on regarde la lune horizontale avec un tube, ou en faisant avec ses doigts une espece de tuyau un peu rétréci, on la voit extrêmement diminuée de grandeur, quoique les doigts ne cachent que fort imparfaitement les objets interposés. 2° Souvent on voit lever la lune de derriere une colline très-voisine, & on la voit démesurément grosse.

Ces faits, qui paroissent renverser l'explication ci-dessus, (ce que pourtant je ne pense pas), ont engagé d'autres physiciens à en chercher une autre. Voici celle de M. Smith, opticien célebre.

La voûte céleste ne nous présente pas l'apparence d'une demi-sphere, mais celle d'une surface beaucoup applatie, & bien moins élevée vers le zénith qu'éloignée à l'horizon. Le soleil & la lune paroissent d'ailleurs sensiblement sous le même angle, soit à l'horizon, soit près du zénith. Or l'intersection d'un angle déterminé est, à une moindre distance du sommet, moindre qu'à une plus grande. Ainsi la projection du soleil & de la lune, ou leur image perspective sur la voûte céleste, est moindre à une grande distance de l'horizon que dans son voisinage. On doit donc les voir moindres loin de l'horizon que près de ce cercle.

Cette explication du phénomene est fort spécieuse. Mais ne peut-on pas demander encore pourquoi ces deux images, vues sous le même angle, paroissent néanmoins l'une plus grande que l'autre ? Ne sera-t-on pas encore obligé de recou-

rir ici à la premiere explication? C'eſt ce que, pour abréger, je laiſſe à juger au lecteur.

Il ſuffit qu'il ſoit bien démontré que ce groſſiſſement apparent n'eſt point produit par une plus grande image peinte dans la rétine. Elle eſt même pour la lune un peu moindre, puiſque cet aſtre étant à l'horizon, eſt plus près de nous d'environ un demi-diametre de la terre, ou d'un ſoixantieme, que lorſqu'il eſt fort élevé ſur l'horizon. Ce phénomene enfin n'eſt qu'une illuſion optique, quelle qu'en ſoit la cauſe qui eſt aſſez obſcure, mais que je crois toujours être principalement le jugement d'une grande diſtance, occaſionné par les objets interpoſés.

## PROBLÊME XX.

*Sur le rétréciſſement des allées paralleles.*

C'EST un phénomene bien connu que celui dont nous parlons ici. Il n'eſt perſonne qui n'ait remarqué, étant à l'extrémité d'une allée d'arbres extrêmement longue, que ſes côtés, loin de paroître paralleles comme ils le ſont réellement, paroiſſent converger dans l'éloignement: il en eſt de même du plafond d'une longue galerie. Et effectivement, s'il falloit mettre ces objets en perſpective, les côtés de cette allée ou de ce plafond devroient être repréſentés par des lignes convergentes; car elles le ſont réellement dans l'image ou le petit tableau qui ſe peint au fond de l'œil.

L'explication complette du phénomene exige toutefois d'autres conſidérations; car, comme la grandeur apparente des objets ne ſe meſure point par la grandeur réelle des images peintes dans l'œil, mais qu'elle eſt toujours le réſultat d'un jugement

gement que l'ame porte de la diſtance, combiné avec la grandeur de l'image préſente dans l'œil, il s'en faut bien que les côtés d'une allée paroiſſent converger auſſi rapidement que le font les lignes qui ſont leurs images dans le plan perſpectif ou dans l'œil. M. Bouguer eſt le premier qui ait parfaitement démêlé ce qui ſe paſſe dans cette occaſion; le voici.

Tout comme, pour un œil placé à l'extrémité d'une longue galerie, le plafond paroît s'abaiſſer, de même, pour un œil placé à l'extrémité d'une longue allée de niveau & de côtés paralleles, le plan de cette allée, au lieu de paroître horizontal, ſemble s'élever. C'eſt-là la raiſon pour laquelle, étant au bord de la mer, nous la voyons comme un plan incliné qui menace la terre d'une inondation. Quelques perſonnes, plus dévotes qu'éclairées en phyſique, ont été juſqu'à regarder cette inclinaiſon comme réelle, & la ſuſpenſion apparente des eaux de la mer comme un miracle ſubſiſtant & continu. Ainſi, placé au milieu d'une vaſte plaine, on la voit s'élever autour de ſoi, comme ſi l'on étoit au fond d'un entonnoir extrêmement évaſé. M. Bouguer enſeigne un moyen fort ingénieux de déterminer cette inclinaiſon apparente; il nous ſuffira de dire que, pour le plus grand nombre des hommes, elle eſt de 2 à 3 degrés.

Imaginons donc deux lignes horizontales & paralleles, & un plan incliné de 2 à 3 degrés paſſant par nos pieds; il eſt évident que ces deux lignes horizontales paroîtront à notre œil comme ſi elles ſe projettoient ſur ce plan incliné. Or leurs projections ſur ce plan ſeroient des lignes concourantes en un point, ſçavoir, celui où l'horizontale

menée de l'œil le rencontreroit: on doit donc voir ces lignes comme convergentes.

Il ſuit de-là que ſi, par quelqu'illuſion particuliere de la vue, le plan où ſont ſituées ces lignes paralleles, au lieu de paroître au deſſus, paroiſſoit incliné en deſſous, l'allée paroîtroit divergente. C'eſt ce que M. Smith, dans ſon *Traité d'Optique*, dit arriver à l'avenue du château de M. North, dans le comté de Norfolk. Mais il ſeroit à ſouhaiter que M. Smith eût décrit avec plus de détail la poſition des lieux.

Quoi qu'il en ſoit, nous allons, d'après ces données, réſoudre un problême aſſez curieux, & aſſez célebre parmi les opticiens.

## PROBLÊME XXI.

*Comment faudroit-il s'y prendre pour tracer une allée qui, vue de l'une de ſes extrémités, parût avoir ſes côtés parfaitement paralleles?*

IMAGINEZ un plan incliné de 2 degrés & demi, & que ſur ce plan ſoient tracées deux lignes paralleles. Que de l'œil ſoient menés deux plans par ces deux lignes, leſquelles étant prolongées, couperoient le plan horizontal en deux autres lignes: ces deux lignes ſeront divergentes, & concourroient, étant prolongées en arriere, derriere le ſpectateur.

Il n'eſt donc queſtion que de trouver ce point de concours. Or cela eſt facile: avec un peu de géométrie, on doit voir que c'eſt celui où une ligne menée par l'œil parallélement au plan incliné ci-deſſus, & dans la direction du milieu de l'allée, iroit rencontrer le plan horizontal. Soit donc menée par l'œil du ſpectateur, & dans le

plan vertical paſſant par le milieu de l'allée, une ligne inclinée à l'horizon de 2 à 3 degrés; le point où elle rencontrera le plan horizontal, ſera celui où les deux côtés de l'allée doivent concourir. Ainſi, menant de ce point par les deux extrémités de la largeur initiale de l'allée, deux lignes droites, ce ſera la trace dans laquelle doivent être plantés tous les arbres pour paroître former des côtés paralleles.

En ſuppoſant la hauteur de l'œil égale à 5 pieds, & le commencement de l'allée large de 6 toiſes ou 36 pieds, on trouve par le calcul, que le point de concours ci-deſſus ſeroit à 102 pieds en arriere, & que l'angle formé par les côtés de l'allée devroit être d'environ 18 degrés.

J'ai cependant peine à croire que des lignes faiſant un angle ſi ſenſible, puiſſent jamais paroître paralleles à un œil fis au dedans, en quelque endroit qu'on le plaçât.

## PROBLÊME XXII.

*Faire un tableau qui, ſuivant les côtés d'où on le conſidérera, préſentera deux peintures différentes.*

PRÉPAREZ un nombre ſuffiſant de petits priſmes équilatéraux, de quelques lignes ſeulement de largeur, & d'une longueur égale à la hauteur du tableau que vous voulez faire.

Placez enſuite tous ces priſmes les uns à côté des autres, ſur le fond que devroit occuper votre tableau.

Coupez ce tableau en bandes égales en largeur à chacune des faces des priſmes ci-deſſus, & collez-les par ordre ſur les faces d'un même côté.

Prenez enfin un autre tableau tout différent du

premier, & l'ayant pareillement diviſé en bandes, collez-les ſur les faces du côté oppoſé.

Il eſt évident que quand on ſera d'un côté, on ne pourra voir que les faces de ce priſme tournées de ce côté : on verra donc l'une des peintures ; & en conſidérant le tableau du côté oppoſé, on perdra de vue la premiere, & l'on n'appercevra que la ſéconde.

On peut même faire un tableau qui, vu de face & des deux côtés, préſentera trois ſujets différents. Il faut, pour cela, couper en bandes le tableau du fond, & les coller ſur ce fond, de maniere qu'il reſte entr'elles l'eſpace d'un carton extrêmement fin. Sur ces intervalles vous éleverez perpendiculairement au fond, des bandes de ce carton, à peu près égales en hauteur à leur intervalle, & ſur les faces droites de ces cartons vous collerez les parties d'un ſecond tableau découpé en bandes. Enfin ſur les faces gauches vous collerez les parties d'un troiſieme tableau découpé de la même maniere. Il eſt évident que quand vous verrez le tableau en face & d'un certain éloignement, vous ne verrez que le fond ; mais éloignez-vous de côté, & de maniere que la hauteur des bandes de carton vous cache le fond, vous verrez uniquement le tableau collé en parties détachées ſur les faces tournées de ce côté ; enfin, en paſſant de l'autre côté, vous verrez un troiſieme tableau.

## PROBLÊME XXIII.

*Décrire ſur un plan une figure difforme, qui paroiſſe dans ſes proportions étant vue d'un point déterminé.*

On peut déguiſer, c'eſt-à-dire rendre difforme une figure, par exemple, une tête, enſorte qu'elle

n'aura aucune proportion étant regardée de front ſur le plan où on l'aura tracée; mais étant vue d'un certain point, elle paroîtra belle, c'eſt-à-dire dans ſes juſtes proportions. Cela ſe pratiquera de la ſorte.

Ayant deſſiné ſur du papier avec ſes juſtes meſures la figure que vous voulez déguiſer, décrivez un quarré autour de cette figure, comme ABCD, & réduiſez-le en pluſieurs autres petits quarrés, diviſant les côtés en pluſieurs parties égales, par exemple en ſept, & tirant des lignes droites en long & en travers par les points oppoſés des diviſions, comme font les peintres quand ils veulent contre-tirer un tableau & le réduire au petit pied, c'eſt-à-dire de grand en petit. Pl. 5, fig. 19.

Cette préparation étant faite, décrivez à diſcrétion ſur le plan propoſé le quarré long EBFG, & diviſez l'un des deux plus petits côtés EG, BF, comme EG, en autant de parties égales qu'en contient DC, l'un des côtés du quarré ABCD, comme ici en ſept. Diviſez l'autre côté BF en deux également au point H, duquel vous tirerez par les points de diviſion du côté oppoſé EG, autant de lignes droites, dont les deux dernieres ſeront EH, GH.

Après cela, ayant pris à diſcrétion ſur le côté BF le point I, au deſſus du point H, pour la hauteur de l'œil au deſſus du plan du tableau, tirez de ce point I au point E, la ligne droite EI, qui coupe ici celles qui partent du point H, aux points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Par ces points d'interſection vous tirerez des lignes droites paralleles entr'elles, & à la baſe EG du triangle EGH, qui ſe trouvera ainſi diviſé en autant de trapezes qu'il y a de quarrés dans le quarré ABCD. C'eſt pourquoi, ſi l'on

rapporte dans ce triangle EGH, la figure qui eſt dans le quarré ABCD, en faiſant paſſer chaque trait par les mêmes trapezes ou quarrés perſpectifs, qui ſont repréſentés par les quarrés naturels du grand ABCD, la figure difforme ſe trouvera décrite. On la verra conforme à ſon prototype, c'eſt-à-dire comme dans le quarré ABCD, en la regardant par un trou qui doit être petit du côté de l'œil, & bien évaſé du côté de la figure, comme K, que je ſuppoſe perpendiculairement élevé ſur le point H, enſorte que ſa hauteur LK ſoit égale à la hauteur HI, qui ne doit pas être bien grande, afin que la figure ſoit plus difforme dans le tableau.

Il y a aux Minimes de la Place Royale une déformation ſemblable d'une Magdeleine en prieres, qui a quelque célébrité. Elle eſt l'ouvrage du pere Niceron, religieux de cet ordre, qui s'eſt extrêmement exercé ſur ce genre d'amuſement optique.

On peut encore faire pluſieurs autres déformations ſemblables, peindre, par exemple, ſur une ſurface courbe, cylindrique, conique, ſphérique, une figure qui, vue d'un point déterminé, paroiſſe réguliere; mais, outre que cela ne réuſſit pas dans la pratique tout-à-fait auſſi bien que dans la théorie, nous ne croyons pas devoir imiter M. Ozanam, en nous appeſantiſſant ſur ce ſujet, tandis qu'il y en a tant d'autres beaucoup plus curieux. Ceux qui eſtiment plus que de raiſon ces gentilleſſes optiques, peuvent conſulter la *Perſpective curieuſe* du pere Niceron, où ils trouveront ſur cela les plus grands détails.

## PROBLÊME XXIV.

*Etant donné un quadrilatere quelconque, trouver les divers parallélogrammes ou rectangles dont il peut être la repréſentation perſpective;* ou bien,
*Etant donné un parallélogramme quelconque, rectangle ou non, trouver ſa poſition & celle de l'œil, qui feront que ſa repréſentation perſpective ſera un quadrilatere donné.*

SOIT le quadrilatere trapézoïde donné ABCD, que nous ſuppoſerons le plus irrégulier qu'il ſe puiſſe, & n'ayant aucuns côtés paralleles. Prolongez les côtés AB, CD, juſqu'à leur concours en F, & les côtés AD, BC, juſqu'à leur rencontre en E; tirez EF, & par le point A ſa parallele GH. Pl. 6, fig. 20.

Je dis premiérement que, quelle que ſoit la poſition de l'œil, pourvu que ce qu'on appelle le point de vue ſoit dans la ligne EF, & non ſeulement dans la ligne EF, mais dans ſa prolongation de part ou d'autre, l'objet dont le quadrilatere ABCD eſt la repréſentation perſpective, ſera un parallélogramme.

Car tous ceux qui connoiſſent les regles de la perſpective, ſçavent que les lignes paralleles entre elles ſur le plan horizontal, ont des apparences qui concourent dans un même point de la parallele à l'horizon tirée par le point de vue. Ainſi toutes les lignes perpendiculaires à la ligne de terre, ont des apparences qui concourent dans le point de vue même; toutes celles qui font avec cette ligne des angles de 45 degrés, ont leurs images concourantes dans ce qu'on appelle les points de diſtance; celles enfin qui font des angles plus

grands ou moindres, ont des images qui concourent dans d'autres points, qu'on détermine toujours en tirant de l'œil juſqu'au tableau une ligne parallele à celles dont on cherche la repréſentation perſpective : donc toutes les lignes qui dans le tableau concourent dans des points ſitués dans la ligne du point de vue, ſont des images de lignes horizontales & paralleles. Ainſi les lignes ſur le plan horizontal, qui ont pour repréſentation dans le tableau les lignes BC, AD, ſont paralleles : il en eſt de même de celles qui donnent les images linéaires AB, DC. Or deux paires de lignes paralleles forment néceſſairement par leurs interſections un parallélogramme : donc l'objet dont le quadrilatere ABCD eſt l'image pour un œil ſitué à la hauteur de la ligne FE, dans quelqu'endroit que ſoit le point de vue, eſt un parallélogrammie.

Cela démontré, nous ſuppoſerons d'abord qu'on veuille avoir pour objet un rectangle. Pour trouver dans ce cas la place de l'œil, diviſez la diſtance FE en deux également en I, & ſuppoſez l'œil ſitué enſorte que la perpendiculaire tirée de ſa place au tableau tombe ſur le point I, & que la diſtance ſoit égale à IE ou IF : les points F, I, ſeront donc ce qu'on nomme, dans le langage de la perſpective, les points de diſtances. Prolongez les lignes CB, CD, juſqu'à la ligne de terre en G & H ; les lignes HCF, ABF, ſeront les images de lignes faiſant avec la ligne de terre des angles de 45 degrés. Il en ſera de même de celles dont GCE, ADE, ſont les images. Donc, tirant d'un côté H*dc*, A*b*, indéfinies, & inclinées à la ligne de terre d'un angle de 45 degrés, & de l'autre côté & dans un ſens contraire les lignes G*bc*. & A*d*, inclinées auſſi d'un angle demi-droit, ces

lignes ſe rencontreront néceſſairement à angle droit, & formeront le rectangle A *b c d*.

Si l'on ſuppoſoit le point de vue dans un autre point, par exemple au point E, c'eſt-à-dire que l'œil fût directement au devant du point E, & à un éloignement égal à EK, il faudroit, après avoir tiré les perpendiculaires EL, FM, à la ligne de terre dans le plan du tableau, mener à la même ligne de terre dans le plan horizontal, la perpendiculaire LN égale à EK, puis la ligne NM, faiſant avec la ligne de terre l'angle LMN. Menez enſuite aux points G & A les perpendiculaires indéfinies AD, GK, & par les points A & H les lignes indéfinies HK AB, faiſant avec la ligne de terre des angles égaux à LMN & en ſens contraires; ces deux paires de lignes ſe rencontreront en BKD, & donneront évidemment un parallélogramme oblique qui ſeroit l'objet dont BCDA eſt la repréſentation pour un œil ſitué vis-à-vis E, & à une diſtance du tableau égale à EK.

Si les côtés A *b*, *c d*, dans le rectangle A*bcd*, étoient diviſés en parties égales par des paralleles aux autres côtés, il eſt clair que prolongeant ces paralleles, elles couperoient en autant de parties égales la ligne AG. Il en eſt de même des paralleles à A *b*, *c d*, qui couperoient en portions égales les côtés A *d*, *b c*; la ligne AH en ſeroit diviſée auſſi en parties égales. Ceci donne le moyen de diviſer, ſi l'on veut, le trapeze ABCD en carreaux, qui ſeroient la repréſentation de ceux dans leſquels A *b c d* ſeroit diviſé.

Nous donnerons dans la ſuite la ſolution d'un problême aſſez curieux, & relatif à la décoration des jardins, qui eſt une ſuite de celui que nous venons de réſoudre.

## *Des Miroirs plans* (a).

On appelle *miroirs plans*, ceux dont la ſurface réfléchiſſante eſt plane; tels ſont les miroirs ordinaires de glaſſe (*b*) dont on décore les appartements. On pourroit auſſi faire des miroirs plans de métal; tels étoient ceux des anciens: mais, depuis l'invention des glaſſes, on n'en fait plus guere, ſinon en petit, pour quelques inſtruments d'optique, où il eſt néceſſaire de prévenir la double réflexion qui ſe fait ſur ceux de glaſſe, l'une ſur la ſurface antérieure, l'autre ſur la poſtérieure. C'eſt cette derniere qui donne l'image la plus vive; car ôtez l'étamage d'une glaſſe, vous verrez auſſi-tôt cette image vive preſque diſparoître, & celle qu'on aura à ſa place égalera à peine celle que donne la premiere ſurface.

On ſuppoſe, au reſte, ordinairement dans la catoptrique, les deux ſurfaces d'un miroir ſi peu éloignées l'une de l'autre, qu'elles n'en ſont qu'une, ſans quoi il y auroit beaucoup de modifications à faire à ſes déterminations.

## PROBLÊME XXV.

*Un point de l'objet B & le lieu de l'œil A étant donnés, trouver le point de réflexion ſur la ſurface d'un miroir plan.*

Pl. 6, fig. 21. PAR le point B donné de l'objet, & A le lieu de l'œil, ſoit conçu un plan perpendiculaire au miroir,

(*a*) M. Ozanam les appelle *plats*, mais cette expreſſion me paroît plate.

(*b*) On nous permettra, malgré l'uſage, d'écrire ainſi ce mot; car il vient du mot anglois ou ſaxon *glaſſ*, qui ſignifie verre.

& le coupant dans la ligne CD ; du point B ſoit menée à CD la perpendiculaire BD, que vous prolongerez juſqu'en F, de ſorte que DF, DB, ſoient égales ; par les points F & A, tirez la ligne AF qui coupera CD en E : ce point E ſera le point de réflexion, le rayon incident ſera BE, le rayon réfléchi EA ; & les angles d'incidence BED, & de réflexion AEC, ſeront égaux.

Car il eſt évident, par cette conſtruction, que les angles BED, DEF, ſont égaux. Or les angles DEF, AEC le ſont auſſi, comme étant oppoſés au ſommet : donc, &c.

## PROBLÊME XXVI.

*Même ſuppoſition faite que ci-deſſus, trouver le lieu de l'image du point B.*

Le lieu de l'image du point B n'eſt autre choſe que le point F ; mais nous n'en donnerons pas pour raiſon celle qui eſt vulgairement alléguée dans les livres de catoptrique, ſçavoir que, dans toute eſpece de miroirs, le lieu de l'image eſt dans la prolongation du rayon de réflexion, juſqu'à la perpendiculaire tirée du point de l'objet ſur la ſurface réfléchiſſante ; car quelle énergie peut avoir cette perpendiculaire, qui n'eſt qu'un être imaginaire, pour fixer ainſi cette image dans ſon concours avec le rayon réfléchi prolongé, plutôt qu'en tout autre point ? Ce principe eſt donc ridicule, & dénué de fondement.

Il eſt cependant vrai que, dans les miroirs plans, le lieu où l'on apperçoit l'objet eſt dans le concours de cette perpendiculaire avec le rayon réfléchi prolongé ; mais c'eſt accidentellement, & en voici la raiſon.

Tous les rayons émanés du point de l'objet B, & réfléchis par le miroir, concourent étant prolongés au point F ; donc leur arrangement à l'égard de l'œil eſt le même que s'ils venoient du point F. Ils doivent donc faire ſur les yeux la même ſenſation que ſi l'objet étoit en F ; car l'œil n'en ſeroit pas autrement affecté, s'ils venoient réellement de ce point.

D'où il eſt aiſé de conclure que, dans un miroir plan, l'objet paroît auſſi enfoncé qu'il eſt éloigné du miroir.

Il s'enſuit auſſi que la diſtance AF de l'image F à l'œil, eſt égale à la ſomme des rayons d'incidence BE & de réflexion AE, puiſque BE & EF ſont égales.

Il s'enſuit encore que, quand le miroir plan eſt parallele à l'horizon comme CD, une grandeur perpendiculaire comme B D doit paroître renverſée.

Enfin que, quand on ſe regarde dans un miroir plan, la gauche paroît à droite, & la droite à gauche de l'image.

## PROBLÊME XXVII.

*Etant donnés pluſieurs miroirs plans, & les places de l'œil & de l'objet, trouver le chemin du rayon venant de l'objet à l'œil, après deux, trois, quatre réflexions.*

Pl. 6, fig. 22. SOIENT les miroirs AB, CD ; que OFE ſoit la perpendiculaire tirée de l'objet O ſur le miroir AB, & prolongée au deſſous, enſorte que FE ſoit égale à OF ; que SHI ſoit pareillement la perpendiculaire tirée de l'œil ſur le miroir CD, & prolongée enſorte que HI ſoit égale à HS ; joignez

les points I, E, par la ligne EI, qui coupera les miroirs en G & K; tirez les lignes OG, GK, KS: ce ſera le chemin du rayon allant du point O à l'œil par deux réflexions.

Ou bien, la premiere partie de la conſtruction ſubſiſtant, du point E abaiſſez ſur le miroir CD la perpendiculaire ELM prolongée au deſſous, de ſorte que LM ſoit égale à LE; tirez la ligne SM, qui coupera CD en K, & du point K la ligne KE, qui coupera AB en G, enfin KO: les lignes OG, GK, KS, ſeront encore le chemin du rayon partant du point O, & allant à l'œil après deux réflexions.

Dans ce cas, le point M ſera l'image du point O, & la diſtance SM ſera égale à la ſomme des rayons SK, KG, GO.

Suppoſons à préſent trois miroirs & trois réflexions; on trouvera de même le chemin que doit tenir un rayon incident pour parvenir à l'œil après ces trois réflexions. Soit, pour cela, OI la perpendiculaire de l'objet ſur le miroir AB, & HI égale à HO. Du point I ſoit IK perpendiculaire ſur CB prolongée s'il le faut, & que KM ſoit égale à MI; enfin du point K ſoit abaiſſée ſur DC prolongée la perpendiculaire KN, qui ſoit prolongée en L, enſorte que LN ſoit égale à KN: tirez SL, qui coupera CD en G; puis du point G la ligne GK, qui coupera CB en F; enſuite de F la ligne FI, qui coupe AB en E; enfin ſoit tirée EO: cette ligne EO eſt celle ſuivant laquelle le rayon incident doit tomber ſur le premier miroir, pour arriver à l'œil S après trois réflexions en E, F, G. Pl. 7, fig. 23.

Et dans ce cas, le point L ſera le lieu de l'image de l'objet pour l'œil placé en S; & la diſtance SL ſera égale à SG, GF, FE, EO priſes enſemble.

On montre d'ordinaire l'application de ce problême au jeu de billard. Mais comme nous avons déja traité ce ſujet dans la mécanique, nous y renvoyons.

## PROBLÊME XXVIII.

*Propriétés diverſes des Miroirs plans.*

I. DANS les miroirs plans, l'image de l'objet eſt toujours égale & ſemblable à l'objet; car il eſt aiſé de démontrer que chaque point de l'objet paroiſſant autant enfoncé dans le miroir qu'il en eſt éloigné, chaque point de l'image eſt ſemblablement placé, & à égale diſtance à l'égard de tous les autres, que dans l'objet; d'où doit néceſſairement ſuivre l'égalité & la ſimilitude de l'objet & de l'image.

II. Dans un miroir plan, ce qui eſt à droite paroît à gauche de l'image, & *viciſsim*. C'eſt ce qui eſt aiſé à éprouver. Ainſi, lorſqu'à un miroir on préſente une écriture ordinaire, c'eſt-à-dire de gauche à droite, on ne ſçauroit la lire, car ce mot AIMANT, par exemple, ſe préſente ſous cette forme, TNAMIA; mais, au contraire, ſi l'on préſente ce dernier mot au miroir, on verra AIMANT. On a par-là un moyen de faire une ſorte d'écriture ſecrete; car, ſi l'on écrit de droite à gauche, on ne pourra lire cette écriture; mais celui qui en ſera prévenu, en la préſentant à un miroir, la verra comme une écriture ordinaire. Il ne faut pas au reſte employer ce moyen pour cacher de grands ſecrets, car il eſt peu de perſonnes qui ne le connoiſſe.

III. Lorſque, dans un miroir plan, vous pouvez vous voir tout entier, à quelque diſtance que vous vous en éloigniez, vous vous verrez toujours tout

entier; & la hauteur du miroir, occupée par votre image, ſera toujours la moitié de votre hauteur.

IV. Si vous recevez un rayon du ſoleil ſur un miroir plan, & que vous donniez à ce miroir un mouvement angulaire, vous verrez le rayon ſe mouvoir d'un mouvement angulaire double; enſorte que quand le miroir aura parcouru 90°, le rayon en aura parcouru 180.

V. Si vous inclinez à une ſurface horizontale un miroir plan à angle de 45°, ſon image ſera verticale.

VI. Si deux miroirs plans ſont diſpoſés parallélement, & qu'on place entre deux un objet, par exemple une bougie allumée, on verra dans l'un & l'autre une longue ſuite de bougies, qui s'étendroit à l'infini ſi chaque image ne s'affoibliſſoit pas à meſure que les réflexions qui la produiſent ſont plus multipliées.

VII. Lorſque deux miroirs ſont diſpoſés de maniere qu'ils forment un angle au moins de 120°, on verra pluſieurs images, ſuivant la poſition de l'œil. Si l'on diminue l'angle des miroirs ſans que l'œil change de place, on verra ces images ſe multiplier comme ſi elles ſortoient de derriere un corps opaque.

Il faut remarquer que toutes ces images ſont dans la circonférence d'un cercle tracé du point de concours des miroirs par le lieu de l'objet.

Le pere Zacharie Traber, Jéſuite, dans ſon *Nervus opticus*, & le pere Tacquet dans ſon *Optique*, ont beaucoup examiné tous les cas réſultants des différents angles de ces miroirs, ainſi que des différentes poſitions de l'œil & de l'objet. Nous croyons devoir y renvoyer.

VIII. Lorſqu'on conſidere obliquement un objet lumineux, comme la flamme d'une bougie, dans un miroir plan de verre, ayant quelque épaiſſeur, on apperçoit pluſieurs images de cet objet: la premiere ou la plus voiſine de la ſurface de la glace, eſt moins brillante que la ſeconde; celle-ci eſt la plus brillante de toutes; après elle on en apperçoit une ſuite de moins en moins éclatantes, quelquefois juſqu'à cinq ou ſix.

La premiere de ces images eſt produite par la ſurface antérieure de la glace, & la ſeconde par la ſurface poſtérieure, qui étant enduite de la feuille d'étain, & devenue opaque par-là, doit donner une réflexion plus vive: auſſi eſt-elle la plus brillante de toutes. Les autres ſont produites par des rayons de l'objet, qui, après pluſieurs réflexions contre les ſurfaces tant antérieure que poſtérieure du miroir, parviennent à l'œil. Nous allons développer ceci.

Pl. 7, fig. 24. Soit V X l'épaiſſeur de la glace en queſtion; que A ſoit l'objet, & O le lieu de l'œil, que nous ſuppoſons également éloignés du miroir. Parmi tous les petits faiſceaux des rayons incidents, il y en a un AB, qui étant réfléchi par la ſurface antérieure en B, atteint l'œil par la ligne BO. Il forme en A′ la premiere image de l'objet.

Un autre, comme AC, pénetre la glace en ſe rompant ſuivant CD; il ſe réfléchit en DE & dans ſa totalité, à cauſe de l'opacité de la ſurface poſtérieure du miroir; & au point E ſe rompant de nouveau, il parvient en O, & forme en A″ l'image la plus vive du point A.

Un autre petit faiſceau AF pénetre auſſi dans la glace, ſe rompt en FG, ſe réfléchit en GB, d'où une partie ſort, mais ne ſçauroit parvenir à l'œil;

l'œil ; l'autre partie ſe réfléchit ſuivant BH, puis ſuivant HI, d'où une petite partie ſe réfléchit encore ; mais le ſurplus ſort de la glace, & ſe rompt ſuivant la ligne IO, par laquelle il arrive à l'œil : il donne conſéquemment la troiſieme image en A''' plus foible que les deux autres.

La quatrieme image eſt formée par un faiſceau de rayons incident, qui éprouve deux réfractions comme les autres, & cinq réflexions, ſçavoir, trois contre la ſurface poſtérieure de la glace, & deux contre l'antérieure. Il faut, pour la cinquieme, deux réfractions & ſept réflexions, ſçavoir, trois contre la ſurface antérieure, & quatre contre la poſtérieure ; & ainſi de ſuite. Il eſt aiſé de ſentir par-là combien ces images doivent diminuer de vivacité : auſſi eſt-il bien rare d'en voir plus de quatre ou cinq.

## PROBLÊME XXIX.

*Diſpoſer pluſieurs miroirs de maniere qu'on puiſſe ſe voir dans chacun en même temps.*

IL eſt aiſé de ſentir qu'il n'y a qu'à diſpoſer ces miroirs ſur la circonférence d'un cercle, de maniere qu'ils conviennent avec les cordes de ce cercle : alors, en ſe plaçant au centre, on ſe verra dans tous les miroirs à-la-fois.

### *REMARQUE.*

SI ces miroirs ſont diſpoſés ſuivant les côtés d'un polygone régulier & de côtés en nombre pair, (l'exagone ou l'octogone paroiſſent le plus convenables) ; ſi d'ailleurs tous ces miroirs ſont bien verticaux & bien plans, vous aurez un cabinet qui vous paroîtra d'une étendue immenſe,

dans lequel, quelque part que vous vous placiez, vous vous verrez répété un nombre prodigieux de fois.

Ce cabinet étant éclairé intérieurement par un luſtre placé dans ſon centre, vous jouirez d'un ſpectacle extrêmement agréable, en voyant ces longues files de lumiere qui ſe préſenteront à vous de quelque côté que vous jetiez la vue.

## PROBLÊME XXX.

*Meſurer une hauteur verticale, & dont le pied eſt même inacceſſible, au moyen de la réflexion.*

Pl. 7, fig. 25. ON ſuppoſe que la hauteur verticale A B eſt celle d'une tour, d'un clocher, &c. dont on cherche la meſure. Pour cet effet, placez en C un miroir bien horizontalement, ou, parceque cela eſt aſſez difficile, & que la moindre aberration cauſeroit une grande erreur ſur la hauteur à meſurer, placez en C un vaſe contenant de l'eau, & réfléchiſſant la lumiere comme un miroir. L'œil qui reçoit le rayon de réflexion étant en O, meſurez avec ſoin la hauteur O D ſur le plan horizontal du miroir placé en C, meſurez auſſi DC, ainſi que CB ſi cette derniere eſt acceſſible; faites enfin comme CD eſt à DO, ainſi CB eſt à BA: ce ſera la hauteur cherchée.

Mais ſuppoſons à préſent que le pied de la tour ne ſoit pas acceſſible; comment s'y prendra-t-on pour meſurer la hauteur AB? Le voici.

Après avoir exécuté l'opération précédente, à l'exception de la meſure de CB, qui par la ſuppoſition eſt impoſſible, prenez une autre ſtation, comme *c*, où vous placerez un miroir; puis vous plaçant en *d*, d'où votre œil appercevra le

point A par le rayon réfléchi *c o*, meſurez encore *c d* & *d o*; après quoi, vous ferez cette proportion: comme la différence de CD & *c d* eſt à CD, ainſi la diſtance C*c* des deux points de réflexion eſt à une quatrieme proportionnelle, qui ſera la diſtance BC, qui nous étoit inconnue.

Cette quantité BC connue, il n'y a plus qu'à faire la regle de proportion indiquée ci-deſſus, & l'on aura la hauteur AB.

Nous ne donnons aſſurément pas cette opération comme ſuſceptible d'une grande exactitude dans la pratique. Les moyens purement géométriques, en y employant de bons inſtruments, ſeront toujours préférables. Mais nous avons cru qu'on trouveroit ici à redire l'omiſſion de cette ſpéculation géométrico-catoptrique, quoique peut-être elle n'ait jamais été miſe en pratique.

## PROBLÊME XXXI.

*Meſurer une hauteur verticale, inacceſſible même par le pied, au moyen de ſon ombre.*

ELEVEZ perpendiculairement ſur un plan bien horizontal, un bâton dont vous meſurerez avec ſoin la hauteur au deſſus de ce plan; nous la ſuppoſerons de 6 pieds exactement.

Prenez enſuite, lorſque le ſoleil commence à baiſſer après midi, ſur le terrain qui vous eſt acceſſible, un point d'ombre C du ſommet de la tour à meſurer, & en même temps un point d'ombre *c* du ſommet du bâton implanté perpendiculairement ſur le même plan; attendez une couple d'heures, plus ou moins, & prenez avec promptitude les deux points d'ombre D & *d*, du ſommet de la tour & du ſommet du bâton; vous Pl. 8, fig. 26.

tirerez enſuite une ligne droite, qui joindra les deux points d'ombre du ſommet de la tour, & vous la meſurerez; vous meſurerez de même la ligne qui joint les deux points d'ombre *c* & *d*, appartenants au bâton. Il ne reſtera plus qu'à faire une regle de proportion, ſçavoir : comme la longueur de la ligne qui joint les deux points d'ombre du bâton, à la hauteur de ce bâton, ainſi la longueur de la ligne qui joint les deux points d'ombre de la tour, à la hauteur de cette tour.

Il ne faut qu'avoir la connoiſſance des premiers éléments de la géométrie, pour reconnoître à la premiere inſpection de la *fig.* 26, que les pyramides BADC & *badc* ſont ſemblables, & conſéquemment que *cd* eſt à *ab* comme CD à AB qui eſt la hauteur cherchée.

## PROBLÊME XXXII.

*De quelques tours ou eſpeces de ſubtilités qu'on peut exécuter avec des miroirs plans.*

ON peut, avec différentes combinaiſons de miroirs plans, exécuter divers tours curieux, & qui pourroient embarraſſer & ſurprendre des gens n'ayant aucune idée de la catoptrique. Nous allons en faire connoître quelques-uns.

1. *Tirer par deſſus l'épaule un coup de piſtolet auſſi ſûrement que ſi l'on couchoit en joue.*

Pl. 8, fig. 27. Pour exécuter cette eſpece de tour, placez devant vous un miroir plan, dans lequel vous apperceviez l'objet que vous devez frapper; enſuite mettez le canon du fuſil ou du piſtolet ſur l'épaule, & dirigez-le, en regardant dans le miroir,

comme ſi l'image étoit l'arme elle-même, c'eſt-à-dire de ſorte que l'image de l'objet à frapper ſoit cachée à l'œil par le canon, ou dans l'alignement de la mire : il eſt évident que ſi vous lâchez alors le coup, le but doit être frappé.

2. *Faire une boîte dans laquelle on verra des corps peſants, comme une balle de plomb, monter contre leur inclination naturelle.*

Soit une boîte quadrangulaire ABCD, qui eſt repréſentée par la *fig. 28*, où l'on ſuppoſe un des côtés enlevé pour faire voir l'intérieur. Le plan HGDC eſt un plan légérement incliné, ſur la ſurface duquel eſt tracée une rainure demi-circulaire & en zigzag, le long de laquelle une balle de plomb puiſſe rouler & deſcendre. HGFI eſt un miroir incliné. M enfin eſt une ouverture à la face oppoſée, qui doit être tellement arrangée, qu'en y mettant l'œil on ne puiſſe point voir le plan incliné HD, mais ſeulement le miroir. On ſent aiſément que l'image de ce plan, ſçavoir HLKG, ſera en apparence un plan preſque vertical, & qu'un corps qui roulera de G en zigzag juſqu'en C, paroîtra au contraire monter en zigzag de G en L ; c'eſt pourquoi, ſi le miroir eſt bien net, enſorte qu'on ne puiſſe point le voir lui-même, ce à quoi pourra contribuer le jour foible qu'on laiſſera pour éclairer la boîte intérieurement, l'illuſion ſera aſſez grande, & ce ne ſera pas ſans quelque raiſonnement qu'on la démêlera, ſi l'on n'eſt pas déja au fait de l'artifice. Pl. 8, fig. 28.

3. *Conſtruction d'une boîte où l'on voie des objets tout différents de ceux qu'on auroit vus par une*

*autre ouverture, quoique les uns & les autres paroiſſent occuper toute la boîte.*

Il faut faire faire une boîte quarrée; car c'eſt celle qui, à cauſe des angles droits, eſt la plus propre à ce jeu optique. Vous la diviſerez en quatre par quatre cloiſons perpendiculaires au fond, qui ſe croiſeront au centre, & contre leſquelles vous appliquerez des miroirs plans. Vous percerez enſuite chaque face de la boîte d'un trou propre à regarder au dedans, & qui ſoit tellement ménagé, que l'on ne puiſſe voir que les miroirs appliqués contre les cloiſons, & non la baſe. Dans chaque petit triangle rectangle enfin, qui eſt formé par deux cloiſons, vous diſpoſerez un objet qui ſe répétant dans les glaces latérales, puiſſe former un deſſin régulier, comme un deſſin de parterre, un plan de fortification, une place de ville, un pavé de compartiments. Pour éclairer l'intérieur, vous ne couvrirez la boîte que d'un parchemin tranſparent.

Il eſt évident que ſi l'on place l'œil à chacune des petites ouvertures pratiquées aux côtés de cette boîte, on appercevra autant d'objets différents, qui paroîtront néanmoins remplir toute la boîte. L'un ſera un parterre très-régulier, l'autre un plan de fortification, le troiſieme un pavé de compartiments, le quatrieme une place décorée.

Si pluſieurs perſonnes ont regardé à-la-fois par ces différentes ouvertures, & qu'elles ſe queſtionnent enſuite ſur ce qu'elles ont vu, il en pourra réſulter entr'elles une conteſtation aſſez plaiſante pour celui qui ſera au fait du tour, l'une aſſurant qu'elle a vu un objet, l'autre un autre, & chacune étant également perſuadée qu'elle a raiſon.

*REMARQUE.*

POUR rendre plus tranſparent le parchemin dont on ſe ſert dans les machines optiques telles que la précédente, il faut le laver pluſieurs fois dans une leſſive claire qu'on changera à chaque fois, & à la derniere, dans de l'eau de fontaine; on le mettra enſuite ſécher à l'air, en le tenant bien étendu.

Si l'on veut lui donner de la couleur, on ſe ſervira, pour le verd, de verd-de-gris délayé dans du vinaigre avec un peu de verd foncé; pour le rouge, de l'infuſion de bois de Bréſil; pour le jaune, de l'infuſion de baies de nerprun, cueillies au mois d'Août: l'on paſſera enfin de temps en temps un vernis ſur ce parchemin.

4. *Voir d'un premier étage ceux qui ſe préſentent à la porte de la maiſon, ſans ſe mettre à la fenêtre & ſans être apperçu.*

Placez ſous la clef du bandeau de la fenêtre, un miroir regardant en bas, & un peu incliné du côté de l'appartement, enſorte qu'il réfléchiſſe à quelques pieds de l'appui de la croiſée, ou ſur cet appui même, les objets placés au devant & près de l'ouverture de la porte. En vous plaçant près de cet appui, & regardant dans le miroir, vous pourrez voir ce qui ſe préſente à l'entrée de la maiſon. Mais comme vous verrez, par ce moyen, l'objet renverſé, & qu'on ne reconnoît que difficilement un objet lorſqu'on le voit de cette maniere; que d'ailleurs il eſt fatiguant & incommode de regarder en haut, il faut placer à l'endroit où le premier miroir renvoie l'image des objets, un ſecond miroir plan qui ſoit Pl. 8, fig. 29.

horizontal, & dans lequel vous regarderez : ce ſecond miroir redreſſant l'objet, vous le reconnoîtrez beaucoup mieux, & vous le verrez ſeulement à une diſtance plus grande, & comme placé perpendiculairement ſur un plan un peu incliné, & à peu de choſe près comme ſi vous le regardiez de haut en bas, en vous mettant à la fenêtre ; ce qui ſuffira ordinairement pour diſcerner les perſonnes de ſa connoiſſance.

La *fig.* 29 repréſente cet arrangement de miroirs, & l'artifice en queſtion.

M. Ozanam, & les autres précédents auteurs des *Récréations Mathématiques*, propoſent en forme de problême, de faire voir à un mari jaloux ce que fait ſa femme dans une autre chambre. Il faut convenir qu'il eſt bien ſpirituel & bien fin de percer vers le plancher le mur qui ſépare deux chambres, de mettre dans cet endroit un miroir horizontal, moitié dans une chambre, moitié dans l'autre, pour réfléchir, au moyen d'un miroir placé en face du lieu de la ſcene, l'image de ce qui s'y paſſe dans l'autre chambre. Sans doute M. Ozanam ni ſes prédéceſſeurs n'étoient pas des maris jaloux, ou comptoient étrangement ſur la paſſion & la ſottiſe de deux amants.

## PROBLÊME XXXIII.

*Avec des miroirs plans, produire le feu & l'incendie à une diſtance conſidérable.*

DISPOSEZ un grand nombre de miroirs plans, & d'une certaine largeur, comme de 6 ou 8 pouces en quarré, de maniere que la lumiere ſolaire qu'ils réfléchiront ſe porte toute ſur un même endroit : il eſt évident, & l'expérience le démontre,

que ſi le nombre de ces miroirs eſt ſuffiſant, comme de 100, de 150, il s'excitera à ce foyer commun une chaleur capable d'enflammer des matieres combuſtibles, & même à une très-grande diſtance.

Cette invention eſt ſans doute celle dont ſe ſervit Archimede, s'il brûla la flotte de Marcellus, comme on le raconte, au moyen de miroirs ardents; car le pere Kircher, étant à Syracuſe, a remarqué que les vaiſſeaux romains ne pouvoient être moins éloignés des murs de cette ville que de 23 pas. Or l'on ſçait qu'un miroir concave ſphérique a ſon foyer à la diſtance de la moitié du rayon: conſéquemment le miroir dont Archimede ſe ſervit eût dû être portion d'une ſphere au moins de 46 pas de rayon; ce qui, dans l'exécution, préſente des difficultés inſurmontables. D'ailleurs, peut-on croire que les Romains, à une diſtance auſſi peu conſidérable de ſa machine, lui en euſſent laiſſé tranquillement faire uſage? Ne l'auroient-ils pas au contraire détruite en un moment par une grêle de traits?

L'architecte & ingénieur Anthémius de Tralles, qui vivoit ſous Juſtinien, eſt le premier qui ſe ſoit aviſé, au rapport de Vitellion, d'employer des miroirs plans pour brûler (*a*); mais on ignore s'il réduiſit jamais ce moyen en pratique. C'eſt à M. de Buffon qu'on doit la démonſtration de la poſſibilité de ce fait par l'exécution: il fit fabriquer en 1747, une machine compoſée de 360 miroirs plans de 8 pouces de largeur en quarré, tous mobiles ſur des pivots & genoux, de maniere à prendre la ſituation qu'on voudroit leur donner; & il

(*a*) Hiſtoire des Mathématiques, T. I, page 328.

parvint, par leur moyen, à allumer du bois à 200 pieds de diſtance. On peut voir dans les Mém. de l'Acad., année 1748, le Mémoire curieux de M. de Buffon ſur ce ſujet.

*Des Miroirs ſphériques, ſoit convexes, ſoit concaves.*

Un miroir ſphérique n'eſt autre choſe qu'une portion de ſphere, dont la ſurface eſt polie de maniere à réfléchir réguliérement la lumiere. Si c'eſt la ſurface convexe qui eſt ainſi polie, ce ſera un miroir ſphérique convexe; ſi c'eſt la ſurface concave, ce ſera un miroir concave.

Il faut d'abord remarquer ici que, lorſqu'un rayon de lumiere tombe ſur une ſurface courbe quelconque, il n'y a qu'à mener un plan tangent au point de cette ſurface où tombe ce rayon, & qu'il ſe réfléchit tout comme il feroit s'il n'y avoit que ce plan. Ainſi, dans un miroir ſphérique, il n'y a qu'à tirer au point de réflexion une tangente à la ſurface, dans le plan du rayon incident & du centre; le rayon ſe réfléchira en faiſant avec cette tangente un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence.

## PROBLÊME XXXIV.

*Le lieu de l'objet & celui de l'œil étant donnés, déterminer le point de réflexion & le lieu de l'image ſur un miroir ſphérique.*

CES deux problêmes ne ſont pas auſſi aiſés à réſoudre ſur les miroirs ſphériques que ſur les miroirs plans; car, lorſque l'œil & l'objet ſont à des diſtances inégales du miroir, la détermination du

point de réflexion dépend néceſſairement d'une géométrie ſupérieure à la géométrie élémentaire, & ce point ne peut être aſſigné ſur la circonférence du cercle, qu'en faiſant uſage d'une des ſections coniques. Nous omettrons pour cette raiſon cette conſtruction, & nous nous bornerons à dire qu'il y en a une extrêmement ſimple, où l'on emploie deux hyperboles entre les aſymptotes, dont l'une détermine le point de réflexion ſur la ſurface convexe, & la ſeconde le point de réflexion ſur la ſurface concave.

Il nous ſuffira d'obſerver ici une propriété de ce point. Que l'objet ſoit B, A le lieu de l'œil, E le point de réflexion ſur la ſurface convexe, par exemple du miroir ſphérique DEL, dont le centre eſt C; FG la tangente au point E, dans le plan des lignes BC, AC, qu'elle rencontre en I & *i*; que le rayon réfléchi AE étant prolongé, coupe en H la ligne BC: les points H & I ſeront tellement ſitués, que vous aurez cette proportion: comme BC eſt à CH, ainſi BI eſt à HI. Pl. 9, fig. 30.

De même, prolongeant BE juſqu'à la rencontre de AC en *h*, vous aurez comme AC: C*h*, ainſi A*i*: *ih*; proportions qui ſont également vraies lors de la réflexion ſur une ſurface concave.

Quant au lieu de l'image, les opticiens ont pendant long-temps pris pour principe que ce lieu étoit le point H où le rayon réfléchi rencontre la perpendiculaire tirée de l'objet ſur le miroir; mais cela n'eſt fondé que ſur ce que cette ſuppoſition ſert à montrer, aſſez bien comment les images des objets ſont moindres dans les miroirs convexes, & plus grandes dans les miroirs concaves que dans les miroirs plans. Ce principe n'a du

reſte aucun fondement phyſique, & eſt regardé aujourd'hui comme abſolument faux.

Un principe plus phyſique, que Barrow a mis en avant, c'eſt que l'œil apperçoit l'image de l'objet dans le concours des rayons formant le petit faiſceau divergent qui entre dans la prunelle de l'œil. Il eſt en effet naturel de penſer que cette divergence étant plus grande quand l'objet eſt voiſin, moindre quand il eſt plus éloigné, elle doit ſervir à l'œil pour juger de la diſtance.

Ce principe ſert auſſi à rendre une raiſon aſſez plauſible de la diminution des objets dans les miroirs convexes, & de leur augmentation dans les miroirs concaves; car la convexité des premiers rend les rayons compoſants chaque faiſceau qui entre dans l'œil, plus divergents que s'ils étoient tombés ſur un miroir plan; conſéquemment le point où ils concourroient ſur le rayon central prolongé, eſt plus près; on démontre même que, dans les miroirs convexes, il eſt plus près, & dans les miroirs concaves plus loin que le point H, pris par les anciens & la plupart des modernes pour le lieu de l'image. On en conclud enfin que, dans les miroirs convexes, cette image ſera encore plus reſſerrée, & dans les miroirs concaves plus étendue que dans la ſuppoſition des anciens; ce qui rend raiſon de l'augmentation de l'apparence des objets dans ceux-ci, & de ſa diminution dans les premiers.

Nous ne diſconviendrons cependant pas que ce principe eſt lui-même ſujet à des difficultés que le docteur Barrow, ſon auteur, ne s'eſt point diſſimulées, & auxquelles il convient ne voir aucune réponſe ſatisfaiſante. Cela a engagé M. Smith à en propoſer un autre dans ſon *Traité d'Optique*,

Mais il eſt aiſé de ſentir que ce n'eſt pas ici le lieu d'entrer ſur cet objet dans une diſcuſſion qui deviendroit trop aride & trop profonde.

## PROBLÊME XXXV.

*Propriétés principales des miroirs ſphériques convexes & concaves.*

1. LA premiere & la principale propriété des miroirs convexes, eſt de repréſenter les objets moindres que ſi on les voyoit dans un miroir plan, à la même diſtance. Cela ſe peut démontrer indépendamment du lieu de l'image ; car on peut faire voir que les rayons extrêmes d'un objet poſé d'une maniere quelconque, qui entrent dans l'œil après avoir été réfléchis par un miroir convexe, forment un angle moindre, & peignent conſéquemment une moindre image ſur la rétine, que s'ils avoient été renvoyés par un miroir plan qui ne change en aucune maniere cet angle. Or, en général, le jugement que porte l'œil ſur la grandeur des objets, dépend de la grandeur de cet angle & de cette image, à moins que quelque raiſon particuliere ne le modifie.

Au contraire, dans les miroirs concaves, il eſt facile de démontrer que les rayons extrêmes d'un objet quelconque ſitué comme on voudra, arrivent à l'œil en faiſant un angle plus grand que s'ils euſſent été réfléchis dans un miroir plan ; & conſéquemment, par la même raiſon que ci-deſſus, l'apparence de cet objet doit être plus grande.

2. Dans un miroir convexe, quelque grande que ſoit la diſtance de l'objet, ſon image n'eſt jamais plus éloignée de la ſurface que la moitié

du rayon, enſorte qu'une ligne droite perpendiculaire au miroir, fût-elle infinie, ne paroîtroit pas plus enfoncée dans le miroir que le quart du diametre.

Dans un miroir concave, au contraire, l'image d'une ligne perpendiculaire au miroir eſt toujours plus longue que l'objet; & ſi cette ligne égale la moitié du rayon, ſon image paroîtra infiniment allongée.

3. Dans les miroirs convexes, l'apparence d'une ligne courbe & concentrique au miroir, eſt une ligne circulaire également concentrique au miroir; mais l'apparence d'une ligne droite ou d'une ſurface plane préſentée au miroir, eſt toujours convexe vers le dehors ou vers l'œil.

C'eſt tout le contraire dans le miroir concave: l'image d'un objet rectiligne ou plan, paroît concave vers l'œil.

4. Un miroir convexe diſperſe les rayons, c'eſt-à-dire que s'ils tombent paralleles ſur ſa ſurface, il les renvoie divergents; s'il tombent divergents, il les renvoie plus divergents encore.

Il arrive tout le contraire aux miroirs concaves: ils font converger les rayons qu'ils reçoivent paralleles; & ceux qui ſont divergents, ils les renvoient ou paralleles ou moins divergents, ſuivant les circonſtances.

C'eſt ſur cette propriété des miroirs ſphériques concaves, qu'eſt fondé l'uſage qu'on en fait pour réunir les rayons du ſoleil dans un petit eſpace où leur chaleur, multipliée en raiſon de leur condenſation, produit des effets ſurprenants. Ceci mérite d'être traité à part.

## PROBLÊME XXXVI.

*Des Miroirs ardents.*

LES propriétés des miroirs ardents ſe déduiſent de la propoſition ſuivante :

*Si un rayon de lumiere tombe fort près de l'axe d'une ſurface ſphérique concave & parallélement à cet axe, il ſe réfléchira de maniere qu'il le rencontrera à une diſtance du miroir à bien peu de choſe près égale à la moitié du rayon.*

Car ſoit ABC la ſurface concave d'un miroir ſphérique bien poli, dont le centre ſoit D, & DB le demi-diametre dans la direction de l'axe ; que EF ſoit un rayon de lumiere parallele à BD : il ſe réfléchira par le rayon FG, qui coupera le demi-diametre BD en un point G. Or ce point G ſera toujours plus près de la ſurface que du centre. En effet, menant le rayon DF, on aura les angles DFE, DFG égaux ; & conſéquemment les angles DFG, GDF, auſſi égaux, puiſque le dernier eſt, à cauſe des paralleles, égal à DFE : donc le triangle DGF eſt iſoſcele, & GD égal à GF : mais GF ſurpaſſe toujours GB ; d'où il ſuit que DG ſurpaſſe auſſi GB : ainſi le point G eſt plus près du miroir que du centre. Pl. 9, fig. 31.

Mais lorſque l'axe BF eſt extrêmement petit, on ſçait que GF ne differe qu'inſenſiblement de GB ; par conſéquent, dans ce cas, le point G eſt à peu de choſe près au milieu du rayon.

Ceci ſe confirme par la trigonométrie ; car on trouve que ſi l'arc BF eſt ſeulement de 5 degrés, en ſuppoſant le demi-diametre DB de 100000 parties, la ligne BG eſt de 49809 ; ce qui ne differe

de la moitié du rayon que de $\frac{191}{100000}$, ou de moins que $\frac{1}{523}$ (*a*). On trouve même que tant que l'arc BF ne ſurpaſſe pas 15 degrés, la diſtance du point G à la moitié du demi-diametre en eſt à peine une 56$^{e}$; par où l'on voit que tous les rayons qui tombent ſur un miroir concave parallélement à ſon axe, & à une diſtance de ſon ſommet qui ne ſurpaſſe pas 15 degrés, ſe réuniſſent, à peu de choſe près, à une diſtance du miroir égale à la moitié du demi-diametre. Ainſi les rayons ſolaires, qui ſont ſenſiblement paralleles, tombant ſur cette ſurface concave, y ſeront condenſés, ſinon dans un point, du moins dans un très-petit eſpace, & y produiront une chaleur véhémente & d'autant plus grande, que la largeur du miroir ſera plus grande. C'eſt cette raiſon qui a fait donner à ce point le nom de *foyer*.

Le foyer d'un miroir concave n'eſt donc pas un point; il a même une largeur aſſez ſenſible. Dans un miroir, par exemple, portion de ſphere de 6 pieds de rayon & de 30 degrés d'arc, ce qui donne un peu plus de 3 pieds de largeur, le foyer doit avoir une 56$^{e}$ environ de cette largeur, c'eſt-à-dire 7 à huit lignes. Les rayons tombants ſur un cercle de 3 pieds de diametre, ſeront donc pour la plupart raſſemblés dans un cercle d'un diametre cinquante-ſix fois plus petit, & conſéquemment qui n'eſt que la 3136$^{e}$ partie. Il eſt aiſé de ſentir

(*a*) Le calcul eſt aiſé: car, l'arc BF étant donné, on a l'angle BDF ainſi que l'angle GFD, ſon égal; & par conſéquent l'angle DGF, qui eſt le complément de leur ſomme, a deux droits. On connoît donc dans le triangle DGF les trois angles & un côté, ſçavoir DF qui eſt le rayon; d'où il ſuit qu'on aura, par une ſimple analogie trigonométrique, le côté DG ou GF qui lui eſt égal.

quel

quel degré de chaleur ils doivent produire, puiſque la chaleur de l'eau bouillante n'eſt guere que triple de la chaleur des rayons directs du ſoleil, un beau jour d'été.

On a néanmoins tenté de faire des miroirs qui réuniſſent tous les rayons du ſoleil dans un même point. Il faudroit pour cela donner à une ſurface polie la courbure d'une parabole. Car ſoit C B D une parabole dont l'axe ſoit AB. Nous ſuppoſons ici que notre lecteur a quelque teinture des ſections coniques. On ſçait qu'il y a ſur cet axe un certain point F, qui eſt tel que, quelque rayon parallele à l'axe qui vienne rencontrer cette parabole, il ſe réfléchira dans ce point préciſément. Auſſi les géometres lui ont-ils donné le nom de *foyer*. Si donc on donne une ſurface bien polie à la concavité d'un ſphéroïde parabolique, tous les rayons ſolaires paralleles entr'eux & à ſon axe ſe réuniront dans un ſeul point, & y produiront une chaleur beaucoup plus forte que ſi la ſurface eût été ſphérique. Pl. 9, fig. 32.

## *REMARQUES.*

I. Le foyer d'un miroir ſphérique étant éloigné d'un quart du diametre, il eſt aiſé de voir l'impoſſibilité dont il eſt qu'Archimede ait pu, avec un ſemblable miroir, brûler les vaiſſeaux romains, quand leur diſtance n'auroit été que de 30 pas, comme Kircher dit l'avoir obſervé étant à Syracuſe ; car il eût fallu que la ſphere dont ce miroir étoit portion, eût été de 60 pas de rayon ; ce qui ſeroit d'une exécution impoſſible. Il y auroit ſemblable inconvénient dans un miroir parabolique. Il eût fallu enfin que les Romains euſſent été d'une condeſcendance merveilleuſe, pour ſe laiſſer brû-

ler d'auſſi près ſans déranger la machine. Si donc le mathématicien de Syracuſe a brûlé les vaiſſeaux romains au moyen des rayons ſolaires ; ſi Proclus a traité, comme on le raconte, de la même maniere les vaiſſeaux de Vitalien qui aſſiégeoit Byſance, ils ont employé des miroirs d'une autre eſpece ; & ils n'ont pu y réuſſir que par une invention ſemblable à celle que M. de Buffon a reſſuſcitée, & dont il a démontré la poſſibilité. *Voyez* le Probl. XXXIII ci-deſſus.

II. Nous ne pouvons nous diſpenſer de parler ici de quelques miroirs célebres par leur grandeur & par les effets qu'ils produiſoient. L'un étoit l'ouvrage de Settala, chanoine de Milan : il étoit parabolique ; &, au rapport du pere Schott, il mettoit le feu au bois à 15 ou 16 pas de diſtance.

Villette, artificier & opticien Lyonnois, en fit trois vers l'an 1670, dont l'un fut acheté par Tavernier, & offert en préſent au roi de Perſe ; le ſecond fut acheté par le roi de Danemarck, & le troiſieme par le roi de France. Ce dernier avoit 30 pouces de largeur, & environ 3 pieds de foyer. Les rayons y étoient réunis dans un eſpace d'un demi-louis de diametre. Il mettoit le feu ſur le champ au bois le plus verd ; il fondoit en peu de ſecondes l'argent & le cuivre, & vitrifioit en une minute, plus ou moins, la brique, la pierre à fuſil, & les autres matieres vitrifiables.

Ces miroirs le cedent néanmoins à celui que M. le baron de Tchirnhauſen exécuta vers l'an 1687, & dont il donna la deſcription dans les Actes de Leipſik de cette année. Ce miroir étoit fait d'une lame de métal, d'une épaiſſeur double de celle d'un couteau ordinaire ; il avoit de largeur environ 3 aunes de Leipſik, ou 5 pieds 3

pouces; ſon foyer étoit éloigné de 2 de ces aunes, ou 3 pieds 6 pouces: il produiſoit les effets ſuivants.

Le bois préſenté au foyer s'enflammoit ſur le champ, & le vent le plus violent ne pouvoit l'éteindre.

L'eau contenue dans un vaſe de terre bouilloit à l'inſtant, enſorte que des œufs y étoient cuits dans le moment, & bientôt après toute l'eau étoit évaporée.

Le cuivre & l'argent y entroient en peu de minutes en fuſion. L'ardoiſe s'y transformoit en un verre noir qui, pris avec une pince, ſe tiroit en filaments.

Les briques y couloient en un verre jaune; la pierre-ponce, des morceaux de creuſets qui avoient réſiſté au feu le plus violent des fourneaux, s'y vitrifioient pareillement; &c.

Tels étoient les effets du fameux miroir de M. de Tchirnhauſen, qui a depuis paſſé au pouvoir de S. M. T. C., & qu'on voit aujourd'hui au Jardin du Roi, aſſez maltraité par les injures de l'air, qui lui ont ôté une grande partie de ſon poli.

Ce n'eſt pas ſeulement de métal qu'on a fait des miroirs ardents; ſi nous en croyons M. Wolf, un ouvrier de Dreſde, nommé *Gœrtner*, en fit, à l'imitation de celui de M. Tchirnhauſen, qui n'étoient que de bois, & dont les effets ne cédoient guere à ceux de ce premier. Mais cet auteur ne nous apprend point comment Gœrtner étoit parvenu à donner à cette matiere un poli ſuffiſant.

Le pere Zacharie Traber y a, ce ſemble, ſuppléé, en nous apprenant comment, avec du bois & de l'or en feuilles, on peut ſe faire un miroir ardent. Car il n'eſt queſtion que de faire tourner

dans un morceau de bois bien ſec & bien ſolide, un ſegment concave de ſphere, l'enduire bien uniformément de poix mélangée de cire, & y appliquer des morceaux de feuilles d'or de 3 ou 4 doigts de largeur. On pourra, dit-il, au lieu de morceaux de feuilles d'or, adapter dans cette concavité de petits morceaux de miroirs plans; & l'on verra avec étonnement que l'effet d'un tel miroir approche beaucoup de celui d'un miroir continu.

Le pere Zahn rapporte quelque choſe de plus ſingulier que ce que Wolf raconte de l'ouvrier de Dreſde dont on a parlé ci-deſſus; car il dit qu'un ingénieur de Vienne (en Autriche) fit en 1699, un miroir de carton, & intérieurement recouvert de paille collée, qui fondoit tous les métaux. J'avoue que je voudrois en avoir été témoin.

On peut aujourd'hui, à beaucoup moins de frais, ſe procurer des miroirs concaves d'un diametre conſidérable, & qui produiſent les mêmes effets que les précédents. On en a l'obligation à M. de Bernieres, un des contrôleurs généraux des ponts & chauſſées, auteur de l'invention de courber les glaces de miroirs, invention qui, indépendamment de ſes uſages optiques, a des applications nombreuſes dans la ſociété. Les miroirs concaves qu'il exécute, ne ſont autre choſe que des glaces rondes, courbées en figure ſphérique concave d'un côté & convexe de l'autre, & étamées du côté convexe. M. de Bernieres en a exécuté un pour le Roi, qui a 3 pieds 6 pouces de diametre, & qui fut préſenté à S. M. en 1757. On le voit dans le cabinet de phyſique de la Meute, où il eſt aujourd'hui dépoſé. Le fer battu, expoſé à ſon foyer, s'y fond en deux ſecondes de temps: l'argent y coule de maniere qu'en

tombant dans l'eau, il s'étend en forme de toile d'araignée : les cailloux s'y vitrifient, &c.

Ces miroirs ont des avantages conſidérables ſur ceux de métal. Leur réflexion contre la ſurface poſtérieure, malgré la perte de rayons qu'occaſionne leur paſſage à travers la premiere ſurface, eſt encore plus vive que celle de la ſurface métallique la mieux polie ; de plus, ils ne ſont pas ſujets comme les premiers à perdre leur poli par le contact de l'air, toujours chargé de vapeurs qui corrodent le métal, mais qui ne peuvent rien ſur le verre : il ſuffit enfin de les préſerver de l'humidité, qui détruit l'étamage.

## PROBLÊME XXXVII.

*Quelques propriétés des miroirs concaves, relativement à la viſion, ou à la formation des images.*

I. Si un objet eſt placé entre un miroir concave & ſon foyer, on l'apperçoit au dedans du miroir, & d'autant plus groſſi qu'il s'approche davantage de ce foyer ; enſorte que lorſqu'il eſt au foyer même, il paroît occuper toute la capacité du miroir, & l'on ne voit rien de diſtinct.

Si l'objet placé à ce foyer eſt un corps lumineux, les rayons qui en ſortent, après avoir été réfléchis par le miroir, marchent parallélement, enſorte qu'ils forment comme un cylindre de lumiere qui porte ſa clarté très-loin, & preſque ſans diminution. On appercevra aiſément dans l'obſcurité cette colonne de lumiere, lorſqu'on ſe tiendra ſur le côté ; & ſi, étant à plus de cent pas de diſtance du miroir, on préſente un livre à cette lumiere, on y pourra lire.

II. Que l'objet ſoit maintenant placé entre le

foyer & le centre, & que l'œil le ſoit ou au de-là du centre, ou entre le centre & le foyer, on ne ſçauroit en avoir par la viſion une perception diſtincte, car les rayons réfléchis par le miroir ſont convergents. Mais ſi l'objet eſt fortement éclairé, ou lumineux comme un flambeau, de la réunion de ſes rayons il ſe formera au-delà du centre une image dans une ſituation renverſée, qui ſe peindra ſur un drap ou un carton mis à la diſtance convenable, ou qui paroîtra en l'air à l'égard d'un œil placé au-delà.

III. Il en ſera à peu près de même lorſque l'objet ſera à l'égard du miroir au-delà du centre. Il ſe peindra alors entre le foyer & le centre une image de l'objet dans une ſituation renverſée ; & cette image s'approchera du centre à meſure que l'objet lui-même en approchera, ou s'approchera du foyer à meſure que l'objet s'éloignera.

Quant au lieu où l'image ſe peindra dans l'un & dans l'autre cas, vous le trouverez par la regle ſuivante.

Pl. 9, fig. 33. Que A C S ſoit l'axe du miroir indéfiniment prolongé, F le foyer, C le centre, O le lieu de l'objet entre le centre & le foyer. Prenez F ω troiſieme proportionnelle à F O & F C: ce ſera la diſtance à laquelle ſe peindra l'image du point placé en O.

Si l'objet eſt en ω, ſon image ſe trouvera en O, en faiſant la même proportion avec les changements convenables, ſçavoir F O troiſieme proportionnelle à F ω, & F C comme en *o*.

Enfin, ſi l'objet eſt entre le foyer & le verre, le lieu où l'on appercevra l'image au dedans du miroir, ou ſon enfoncement, ſe trouvera en faiſant F ω à F A, comme F A à F *o*.

## *REMARQUES.*

1. Cette propriété des miroirs concaves, de former entre le centre & le foyer, ou au-delà du centre, une image des objets qui lui ſont préſentés, eſt une de celles dont on tire le plus grand ſujet de ſurpriſe pour ceux qui ne ſont pas verſés dans cette théorie. Car, qu'un homme s'avance vers un grand miroir concave en lui préſentant une épée; il verra, quand il ſera parvenu à la diſtance convenable, s'élancer hors du miroir une lame d'épée, la pointe tournée vers lui; s'il ſe retire, l'image de la lame ſe retirera; s'il s'avance de maniere que la pointe ſoit entre le centre & le foyer, l'image de l'épée la croiſera, comme ſi les fers étoient engagés.

2. Si, au lieu d'une lame d'épée, vous préſentez au miroir le poignet à une certaine diſtance, vous verrez ſe former en l'air un poignet dans une ſituation renverſée, qui s'approchera du poignet véritable, lorſque celui-ci approchera du centre, de maniere à ſe rencontrer l'un l'autre.

3. Placez-vous un peu au-delà du centre du miroir; & alors, en regardant directement dedans, vous verrez au-delà du centre l'image de votre viſage renverſée. Si alors vous continuez d'approcher, cette image phantaſtique s'approchera de vous, au point que vous pourrez la baiſer.

4. Qu'on ſuſpende un bouquet renverſé entre le centre & le foyer, un peu au deſſous de l'axe, & que, par le moyen d'un carton noir, on le cache à la vue du ſpectateur, il ſe formera au deſſus de ce carton une image droite de ce bouquet, qui ſurprendra d'autant plus, qu'on ne verra Pl. 9, fig. 34.

point l'objet qui la produit : on ſera tenté par cette raiſon de le prendre pour un objet réel, & de l'aller toucher & ſentir.

5. Si vous placez un miroir concave dans le fond d'une ſalle, en face d'un payſage fortement éclairé par le ſoleil, & qu'un peu au-delà du foyer vous lui préſentiez un carton blanc vertical, vous verrez ſe peindre ſur ce carton l'image des objets extérieurs, avec leurs couleurs naturelles & dans une ſituation renverſée. C'eſt-là un des moyens de faire les expériences de la chambre obſcure par la ſimple réflexion.

6. Placez enfin ſur une table un grand miroir concave, dans une inclinaiſon approchante de 45°, & au devant du miroir, ſur la table, une eſtampe ou un tableau, le bas tourné vers le miroir, vous verrez les figures de cette eſtampe ou de ce tableau extrêmement groſſies ; & ſi les choſes ſont diſpoſées de maniere à favoriſer l'illuſion, comme ſi vous regardez dans le miroir par une ouverture qui vous dérobe la vue de l'eſtampe ou du tableau, vous croirez voir les objets eux-mêmes.

C'eſt ſur ce principe que ſont conſtruites ces boîtes aujourd'hui aſſez communes, qu'on appelle *optiques*, & dont nous allons donner la conſtruction.

## PROBLÊME XXXVIII.

*Conſtruire une boîte ou chambre optique, où l'on voie les objets plus grands que la boîte.*

FAITES une boîte quarrée, convenable pour le miroir concave dont vous voulez vous ſervir, c'eſt-à-dire telle que ſa largeur ſoit un peu moindre que la diſtance du foyer de ce miroir, & couvrez le deſſus de la boîte d'un parchemin tranſparent ;

ou d'un taffetas blanc, ou d'une glace ſimplement adoucie & non polie.

Appliquez votre miroir à un des fonds verticaux de la boîte, & placez contre le fond oppoſé une eſtampe enluminée, ou une peinture repréſentant des fabriques, un payſage, un port de mer, une promenade, &c. Cette eſtampe doit entrer dans la boîte par une rainure, enſorte qu'on puiſſe la retirer, & en ſubſtituer une autre à volonté.

Au haut du fond oppoſé au miroir, ſoit pratiquée une ouverture ronde, ou une ſimple fente, par laquelle on puiſſe voir dans la boîte : lorſqu'on y appliquera l'œil, on appercevra les objets peints dans l'eſtampe énormement groſſis ; on croira voir les bâtiments, les promenades qui y ſont repréſentés.

J'ai vu quelques-unes de ces machines qui, par leur conſtruction, la grandeur du miroir & la vérité de l'enluminure, préſentoient un ſpectacle plus amuſant qu'on ne pourroit ſe le figurer.

*Des Miroirs cylindriques, coniques, &c. & des déformations qu'on exécute par leur moyen.*

Il y a d'autres miroirs courbes que ceux dont nous venons de parler ; tels ſont, entr'autres, les miroirs cylindriques & coniques, au moyen deſquels on produit des effets aſſez curieux. On décrit, par exemple, ſur un plan une figure qui eſt tellement difforme, qu'il eſt preſqu'impoſſible de reconnoître ce que c'eſt ; mais, en plaçant un miroir cylindrique ou conique, ainſi que l'œil, dans des endroits déterminés, on l'apperçoit dans ſes juſtes proportions. Voici comment cela s'exécute.

## PROBLÊME XXXIX.

*Décrire sur un plan horizontal une figure difforme, qui paroisse belle étant vue d'un point donné, par réflexion sur la surface convexe d'un miroir cylindrique droit.*

Pl. 10, fig. 35, n° 1 & 2. QUE ABC soit la base de la portion de surface cylindrique & polie qui doit servir de miroir, & que AC en soit la corde. Sur le rayon perpendiculaire à AC, & prolongé indéfiniment, soit pris le point O qui répond perpendiculairement au dessous de l'œil. Ce point O doit être à une distance médiocre du miroir, & élevé au dessus du plan de la base de 3 ou 4 fois seulement le diametre du cylindre. Il est à propos que le point O soit à un tel éloignement du miroir, que les lignes OA, OC, tirées du point O, fassent avec la surface cylindrique un angle médiocrement aigu ; car si les lignes OA, OC, étoient tangentes aux points A & C, les parties de l'objet, vues par ces rayons, seroient extrêmement resserrées, & vues peu distinctement.

Le point O étant donc ainsi déterminé, & ayant tiré les lignes OA, OC, tirez aussi AD & CE indéfinies, de telle sorte qu'elles fassent avec la surface cylindrique ou la circonférence de la base, des angles égaux à ceux que font avec elles les lignes OA, OB; ensorte que si l'on considéroit les lignes OA, OC, comme des rayons incidents, AD, CE en fussent les rayons réfléchis.

Divisez ensuite AC en 4 parties égales, & formez au dessus un quarré, que vous diviserez en 16 autres petits quarrés égaux. Tirez après cela aux points de division 2 & 4, les lignes O 2, O 4, qui coupent le miroir en F & H, desquels points vous

menerez indéfiniment FG, HI, en telle ſorte que ces dernieres lignes ſoient les rayons réfléchis qui répondroient aux lignes OF, OH, conſidérés comme rayons incidents.

Cela fait, ſur l'extrémité O d'une ligne indéfinie, élevez ON égale à la hauteur de l'œil au deſſus du plan du miroir; faites OQ égale à OA, & élevez ſur le point Q la perpendiculaire Q 4 égale à AC, que vous diviſerez en quatre parties égales; après quoi, par le point N & ces points de diviſion, vous tirerez des lignes droites qui, prolongées, couperont la ligne OQP dans les points I, II, III, IV. Tranſportez ces diviſions dans le même ordre ſur les rayons AD & CE, enſorte que A I, A II, A III, A IV, ſoient reſpectivement égales à Q I, Q II, Q III, Q IV. Pl. 10, fig. 35, n° 2.

Procédez de la même maniere pour diviſer les lignes FG, H I, en parties inégales, comme F I, F II, F III, F IV, H I, H II, H III, H IV; enfin diviſez de la même maniere la ligne B IV: il ne vous reſtera plus qu'à joindre par des lignes courbes les points ſemblables de diviſion ſur ces 5 lignes; ce que vous ferez facilement, en prenant une regle bien flexible, & l'appuyant ſur ces points. Mais on s'écartera peu de la vérité, en joignant ces points trois à trois par des arcs de cercle. Ces arcs de cercle ou de courbe avec les lignes droites A IV, F IV, B IV, H IV, C IV, formeroient des portions de couronnes circulaires, très-irrégulieres à la vérité, qui répondront aux 16 quarrés dans leſquels on a diviſé celui de AC, enſorte que l'arcole mixtiligne *a* répond au quarré *a*, l'arcole *b* au quarré *b*, *c* à *c*, *d* à *d*, &c.

Si donc on décrit ſur le quarré de AC une figure réguliere, & qu'on tranſporte, par exemple,

dans l'arcole *a* de la baſe, ce qui ſe trouve dans le petit quarré *a*, en l'allongeant ou rétréciſſant de la maniere convenable, & ainſi des autres, on aura une figure extrêmement irréguliere & abſolument méconnoiſſable, qui, vue dans le miroir cylindrique par l'œil placé convenablement au deſſus du point O, paroîtra réguliere; car on démontre dans la théorie des miroirs cylindriques, que toutes ces arcoles irrégulieres doivent paroître former le quarré de AC & ſes diviſions, ou à peu près. Nous diſons à peu près, car cette conſtruction n'eſt pas géométriquement parfaite, & ne le ſçauroit être, à cauſe de l'indéciſion du lieu de l'image dans les miroirs de cette eſpece. Cependant cette conſtruction réuſſit aſſez bien pour que des objets, abſolument méconnoiſſables ſur la baſe du miroir, ſoient paſſablement réguliers dans leur repréſentation. Nous obſerverons au ſurplus qu'il faut, pour que cela réuſſiſſe bien, placer l'œil à une pinnule ou à un trou de quelques lignes ſeulement, élevé perpendiculairement ſur le point O, & à une hauteur égale à ON.

*REMARQUE.*

ON pourroit, au lieu d'un miroir cylindrique, ſe ſervir d'un miroir priſmatique droit, qui auroit cela de remarquable, que, pour voir une image réguliere & bien proportionnée, il faudroit qu'elle fût tranſportée dans des parties de la baſe qui ne ſeroient point continues enſemble, mais qui ſeroient des parallélogrammes appuyés ſur la baſe, & diſpoſés à l'entour en forme d'éventail, avec des intervalles triangulaires entre deux: ainſi l'on pourroit peindre dans ces intervalles quelque ſujet particulier, enſorte que plaçant le miroir, on y verroit toute autre choſe que ce qui eſt repréſenté.

Mais nous n'entrons pas dans les détails de cette déformation, parce que nous donnerons celle du miroir pyramidal, qui produit un effet ſemblable. Voilà au reſte un problême ſur lequel les commençants peuvent s'exercer, & dont la ſolution n'eſt pas bien difficile.

## PROBLÊME XL.

*Décrire ſur un plan horizontal une figure difforme, qui paroiſſe belle étant vue par réflexion ſur la ſurface d'un miroir conique, d'un point donné dans l'axe de ce cône prolongé.*

DÉCRIVEZ autour de la figure que vous voulez déguiſer, le cercle ABCD d'une grandeur priſe à volonté, & diviſez ſa circonférence en tel nombre de parties égales qu'il vous plaira; tirez du centre E par les points de diviſion autant de demi-diametres, dont l'un, comme AE, ou DE, doit auſſi être diviſé en un certain nombre de parties égales; décrivez du centre E par les points de diviſion, autant de circonférences de cercle, qui, avec les demi-diametres précédents, diviſeront l'eſpace terminé par la premiere & plus grande circonférence ABCD, en pluſieurs petits eſpaces, qui ſerviront à contenir la figure qui y ſera compriſe, & à la défigurer ſur le plan horizontal autour de la baſe FGHI du miroir conique, en cette ſorte : Pl. 10, fig. 36, n° 1 & 2.

Ayant pris le cercle FGHI, dont le centre eſt O, pour la baſe du cône, faites à part le triangle rectangle KLM, dont la baſe KL ſoit priſe égale au demi-diametre OG de la baſe du cône, & la hauteur KM égale à la hauteur du même cône; prolongez cette hauteur KM en N, de ſorte que la partie MN ſoit égale à la diſtance de l'œil à la pointe du cône, ou toute la ligne KN égale à la Fig. 36, n° 3.

hauteur de l'œil au deſſus de la baſe du cône. Ayant diviſé la baſe KL en autant de parties égales qu'en contient le demi-diametre AE, ou DE, du prototype, tirez du point N, par les points de diviſion P, Q, R, autant de lignes droites, qui donneront ſur l'hypothénuſe LM, qui repréſente le côté du cône, les points S, T, V; faites au point V l'angle LV 1 égal à l'angle LVR, au point T l'angle LT 2 égal à l'angle LTQ, au point S l'angle LS 3 égal à l'angle LSP, & au point M, qui repréſente le ſommet du cône, l'angle LM 4 égal à l'angle LMK, pour avoir ſur la baſe KL prolongée les points, 1, 2, 3, 4.

Enfin décrivez du centre O de la baſe FGHI du miroir conique, & des intervalles K1, K2, K3, K4, des circonférences de cercles, qui repréſenteront celles du prototype ABCD, & dont la plus grande doit être diviſée en autant de parties égales que la circonférence ABCD; puis tirez du centre O, par les points de diviſion, des demi-diametres qui donneront ſur le plan horizontal autant de petits eſpaces difformes que dans le prototype ABCD, dans leſquels par conſéquent on pourra tranſporter la figure de ce prototype. Cette image ſe trouvera extrêmement défigurée ſur le plan horizontal, & paroîtra néanmoins par réflexion dans ſes juſtes proportions, ſur la ſurface du miroir conique poſé ſur le cercle FGHI, quand l'œil ſera mis perpendiculairement au deſſus du centre O, & éloigné de ce centre O d'une diſtance égale à la ligne KN.

*REMARQUE.*

Pl. 10, fig. 36, n° 1 & 2. POUR ne vous pas tromper en tranſportant ce qui eſt dans le prototype ABCD ſur le plan horizontal, on prendra garde que ce qui eſt le plus

éloigné du centre E, doit être le plus proche de la baſe FGHI du miroir conique, comme vous voyez par les mêmes lettres, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, du plan horizontal & du prototype. La déformation ſera d'autant plus bizarre, que ce qui, dans l'image réguliere, eſt contenu dans un ſecteur *a* (n° 1), eſt renfermé dans la déformation par une portion de couronne circulaire.

## PROBLÊME XLI.

*Exécuter la même choſe par le moyen d'un miroir pyramidal.*

ON ſçait, & il eſt aiſé de le reconnoître, qu'un miroir pyramidal quadrangulaire ſur la baſe AB CD, ne réfléchit à l'œil élevé ſur l'axe, que les triangles BEC, CFD, DGA, AHB, du plan qui environne la baſe, & qu'aucun rayon provenant de l'eſpace intermédiaire n'arrive à l'œil. Il eſt d'ailleurs aiſé de voir que ces quatre triangles occupent toute la ſurface du miroir, & que l'œil étant élevé au deſſus de ſon ſommet, & regardant par un petit trou, ils doivent paroître enſemble remplir le quarré de la baſe: ainſi il faut, dans ce cas, décrire l'image à déformer dans le quarré ABCD, égal au plan de la baſe; enſuite tirer par le centre *e*, tant les diagonales que les lignes perpendiculaires aux côtés, leſquelles, avec les petits quarrés concentriques décrits dans celui de la baſe, la diviſeront en petites portions triangulaires & trapézoïdes. Pl. 11, fig. 37, n° 1 & 2.

Maintenant la ſection du miroir par l'axe & par la ligne *e* L étant un triangle rectangle, il ſera facile, par une méthode ſemblable à celle du problême précédent, de trouver ſur la ligne *e* L prolongée, ſon image LE, & les points de diviſion

qui ſont l'image de ceux de la premiere. Que ces points ſoient L, III, II, E, tirez par ces points des paralleles à la baſe BC, & faites pareille choſe dans chacun des autres triangles HAB, &c : vous aurez l'aire de l'image à peindre diviſée en parties correſpondantes à celles de la baſe. Décrivant donc dans chacune, & dans la ſituation & l'allongement ou le rétréciſſement convenables, les parties de la figure contenues dans les parties correſpondantes de la baſe, vous aurez la déformation demandée, qui, étant vue d'un certain point dans l'axe prolongé, paroîtra réguliere & occuper la baſe.

Cette eſpece de déformation l'emporte par la ſingularité ſur les précédentes, en ce que les parties de la figure déformée ſont ſéparées les unes des autres, quoique contiguës lorſqu'on les voit dans le miroir; ce qui permet de peindre dans les eſpaces intermédiaires, d'autres objets qui jetteront abſolument dans l'erreur ſur ce qu'on s'attendra à voir, & cauſeront par-là plus de ſurpriſe.

*Des Verres lenticulaires ou Lentilles de verre.*

On appelle *verre lenticulaire* ou *lentilles de verre*, un morceau de glaſſe figuré des deux côtés, ou du moins d'un ſeul, en courbure ſphérique. Il y en a qui ſont convexes d'un côté & plans de l'autre; d'autres ſont convexes des deux côtés; il y en a de concaves d'un côté ſeul ou de tous les deux; d'autres enfin ſont convexes d'un côté & concaves de l'autre. La forme de ceux qui ſont convexes des deux côtés, & qui les fait reſſembler à une lentille, leur a fait donner généralement le nom de verre lenticulaire ou de lentille de verre.

Les uſages de ces verres ſont aſſez vulgairement connus. Ceux qui ſont convexes agrandiſſent l'apparence

l'apparence des objets, & aident la vue des vieillards; les verres concaves, au contraire, diminuent les objets, & ſervent aux myopes. Les premiers réuniſſent les rayons du ſoleil aux environs d'un point qu'on nomme *foyer;* & quand ils ſont d'une largeur un peu conſidérable, ils y produiſent le feu. Les verres concaves diſperſent au contraire les rayons du ſoleil. Les uns & les autres enfin entrent dans la compoſition des lunettes d'approche & des microſcopes.

## PROBLÊME XLII.

*Trouver le foyer d'un globe de verre.*

LES globes de verre tenant en bien des occaſions la place des lentilles de verre, il eſt à propos de dire un mot de leur foyer. Voici comment on le détermine.

Soit la ſphere de verre BCD, dont le centre eſt F, & CD un diametre auquel eſt parallele le rayon incident AB. Ce rayon rencontrant la ſurface de la ſphere en B, ne continue pas ſon chemin en ligne droite, comme il feroit s'il ne pénétroit pas dans un nouveau milieu; mais il approche de la perpendiculaire tirée du centre F ſur le point d'incidence B. Ainſi il concourroit avec le diametre en un point E, ſi, ſortant au point I de la ſphere, il ne s'écartoit de la perpendiculaire FI; ce qui lui fait prendre la route IO, & arriver au point O qui eſt le foyer cherché. Pl. 11, fig. 38.

Pour déterminer ce foyer O, on cherchera d'abord le point de concours E; ce qu'on trouvera facilement, en faiſant attention que dans le triangle FBE il y a même raiſon de FB à FE, que du ſinus de l'angle FEB à celui de l'angle FBE; ou,

à cauſe de la petiteſſe de ces angles, que de l'angle FEB ou ſon égal GBE à l'angle FBE : car nous ſuppoſons le rayon incident AB extrêmement près du diametre CD ; & conſéquemment l'angle ABH eſt très-petit, ainſi que ſon égal l'angle FBG. Or, dans les angles extrêmement petits, la raiſon des angles & de leur ſinus eſt la même. Mais, par la loi de la réfraction, lorſque le paſſage ſe fait de l'air dans le verre, la raiſon de l'angle d'incidence ABH ou GBF à l'angle rompu FBI étant, (lorſqu'ils ſont très-petits), de 3 à 2, il s'enſuit que l'angle FBE eſt à très-peu près double de EBG : conſéquemment le côté FE du triangle FBE, eſt à très-peu près ~~triple~~ double de FB, ou égal à deux fois le rayon ; DE eſt par conſéquent égale au rayon.

Pour trouver maintenant le point O, où le rayon ſortant de la ſphere, & s'écartant de la perpendiculaire, doit rencontrer la ligne DE, on fera un raiſonnement tout ſemblable. Dans le triangle IOE, le rapport de IO à OE eſt le même à très-peu près que celui de l'angle IEO, ou de ſon égal IFE à l'angle OIE. Or ces deux angles ſont égaux, car l'angle IFD eſt le tiers de l'angle d'incidence BFG ou ABH ; mais, par la loi de la réfraction, l'angle OIE eſt à très-peu près la moitié de l'angle d'incidence EIK, ou de ſon égal FIB, qui eſt les $\frac{2}{3}$ de l'angle FBG : il eſt donc le tiers de FBG ou HBA, comme le précédent : les angles OIE, OEI, ſont donc égaux ; d'où il ſuit que OE eſt égale à OI, qui elle-même eſt égale à DO, à cauſe de leur très-grande proximité. Ainſi DO, ou l'éloignement du foyer du globe de verre à ſa ſurface, eſt la moitié du rayon ou le quart du diametre. C. Q. F. T.

## PROBLÊME XLIII.

*Trouver le foyer d'une lentille quelconque de verre.*

NOUS pourrions faire ici un raiſonnement ſemblable à celui que nous avons fait pour déterminer la route d'un rayon traverſant une ſphere de verre; mais, pour abréger, nous nous bornerons à donner une regle générale démontrée par les opticiens, & qui renferme tous les cas poſſibles des lentilles de verre, quelque combinaiſon qu'on faſſe de convexités & de concavités. Nous en montrerons enſuite l'application, en parcourant quelques-uns des principaux cas. Voici cette regle.

*Comme la ſomme des demi-diametres des deux convexités*
*eſt à l'une des deux,*
*ainſi le diametre de l'autre*
*à la diſtance du foyer.*

Il y a dans l'uſage de cette regle une attention à avoir. Lorſqu'une des faces du verre ſera plane, il faut regarder le rayon de ſa ſphéricité comme infini; & lorſqu'elle ſera concave, le rayon de la ſphere dont cette concavité eſt partie, doit être regardé comme négatif. Ceux à qui l'algebre eſt tant ſoit peu familiere, nous entendront facilement.

Ier CAS. *Lorſque la lentille eſt également convexe des deux côtés.*

Soit, par exemple, le rayon de la convexité de chacune des faces, égal à 12 pouces. On aura, par la regle générale, cette proportion: comme la ſomme des rayons ou 24 pouces eſt à l'un des

deux ou à 12 pouces, ainſi le diametre de l'un d'eux ou 24 pouces, à un quatrieme terme qui eſt 12 pouces, diſtance du foyer; ce qui apprend qu'une lentille de verre, également convexe des deux côtés, réunit les rayons ſolaires, ou en général les rayons paralleles à ſon axe, à la diſtance du rayon d'une des deux ſphéricités.

IIe CAS. *Lorſque la lentille eſt inégalement convexe des deux côtés.*

Que les rayons de ces convexités ſoient, par exemple, 12 & 24. On fera cette proportion: comme 12 plus 24 ou 36 ſont à 12, rayon d'une des convexités, ainſi 48, diametre de l'autre, eſt à 16; ou bien, comme 12 plus 24, ou 36, ſont à 24, rayon d'une des convexités, ainſi le diametre de l'autre 24 eſt à 16: la diſtance du foyer ſera donc de 16 pouces.

IIIe CAS. *Lorſque la lentille a un côté plan.*

Soit d'un côté la même ſphéricité que dans le premier cas. On dira donc, en appliquant la regle générale: comme la ſomme des rayons des deux ſphéricités, ſçavoir 12 & une grandeur infinie, eſt à l'une des deux ou cette grandeur infinie, ainſi 24, diametre de l'autre convexité, eſt à un quatrieme terme qui ſera 24; car les deux premiers termes ſont égaux, parcequ'une quantité infinie, augmentée ou diminuée d'une quantité finie, eſt toujours la même: donc les deux derniers termes ſont auſſi égaux: d'où il ſuit qu'*un verre plan-convexe a ſon foyer à la diſtance du diametre de ſa convexité.*

IVe CAS. *Lorſque la lentille eſt convexe d'un côté & concave de l'autre.*

Que le rayon de la convexité ſoit encore 12

pouces ; & que celui de la concavité ſoit 27. Comme une concavité eſt une convexité négative, ce nombre 27 doit être pris en l'affectant du ſigne — : on aura donc cette proportion ;

Comme 12 p. — 27 ou — 15 p. eſt au rayon de la concavité — 27, (ou comme 15 eſt à 27,) ainſi 24 p., diametre de la convexité, eſt à 43 $\frac{1}{7}$. C'eſt la diſtance du foyer de cette lentille. Il eſt poſitif ou réel, c'eſt-à-dire que les rayons, tombants parallélement à l'axe, ſe réuniront véritablement au-delà du verre. En effet, la concavité étant d'un diametre plus grand que la convexité, elle doit faire moins diverger les rayons que cette convexité ne les fait converger. Mais ſi la concavité étoit d'un diametre moindre, les rayons, au lieu de converger au ſortir du verre, ſeroient divergents, & le foyer ſeroit au devant du verre. On l'appelle alors *virtuel*. En effet ; que 12 ſoit le rayon de la concavité, & 27 celui de la convexité ; on aura, par la regle générale : comme 27 — 12 ou 15 eſt à 27, ainſi — 24 eſt à — 43 $\frac{1}{7}$. Ce dernier terme étant négatif, indique un foyer en avant du verre, & annonce que les rayons en ſortiront divergents, comme s'ils venoient de ce point.

Ve CAS. *Lorſque la lentille eſt concave des deux côtés.*

Que les rayons des deux concavités ſoient 12 & 27 p. ; vous aurez cette proportion : comme — 12 — 27 eſt à — 27, ou comme 39 eſt à 27, ainſi — 24 eſt à — 16 $\frac{8}{13}$. Ce dernier terme étant négatif, annonce que le foyer n'eſt que virtuel, & que les rayons ſortants du verre iront en diver-

geant, comme s'ils venoient d'un point ſitué à 16 p. $\frac{8}{13}$ au devant du verre.

VI^e CAS. *Lorſque la lentille eſt concave d'un côté & plane de l'autre.*

Que le rayon de la concavité ſoit encore 12; la regle donnera cette proportion : comme — 12 plus une quantité infinie eſt à une quantité infinie, ainſi — 24 eſt à — 24; car une quantité infinie, diminuée, d'une quantité finie, reſte toujours la même. Ainſi l'on voit que, dans ce cas, le foyer virtuel d'un verre plan-concave, ou le point d'où les rayons, après leur réfraction, paroiſſent diverger, eſt à la diſtance du diametre de la concavité, comme, dans le cas du verre plan-convexe, le point auquel ils convergent eſt à la diſtance d'un diametre.

Voilà tous les cas que peuvent préſenter les verres lenticulaires; car celui dans lequel on ſuppoſeroit les deux concavités egales, eſt contenu dans le cinquieme.

### *REMARQUE.*

ON a ſuppoſé au reſte, dans tous ces calculs, que l'épaiſſeur du verre étoit de nulle conſidération, relativement au diametre de la ſphéricité; ce qui eſt le cas le plus ordinaire; car autrement ces déterminations ſeroient différentes.

### *Des Verres ardents.*

Les verres lenticulaires fourniſſent un troiſieme moyen de réſoudre le problême déja réſolu par le ſecours des miroirs, ſçavoir, de réunir les rayons du ſoleil de maniere à produire le feu & l'incen-

die. Car un verre de quelques pouces de diametre produit déja une chaleur aſſez forte pour mettre le feu à l'amadou, au feutre, aux étoffes, au papier noir ou gris, &c.

Les anciens connoiſſoient à cet égard la propriété des globes de verre ; ils s'en ſervoient même quelquefois à cet uſage. C'étoit probablement avec un globe de verre qu'on allumoit le feu de Veſta. Il y a eu à la vérité des gens qui ont prétendu prouver que c'étoit au moyen de verres lenticulaires qu'ils produiſoient cet effet ; mais M. de la Hire a fait voir que cela étoit ſans fondement, & que les verres ardents des anciens n'étoient que des globes de verre, conſéquemment incapables d'un effet bien remarquable.

M. de Tchirnhauſen, auteur du célebre miroir dont nous avons parlé plus haut, l'eſt auſſi du plus grand verre ardent qu'on eût encore vu. Ce gentilhomme & mathématicien Saxon, étant à portée des verreries de Saxe, parvint enfin à ſe procurer, vers l'an 1696, des glaſſes de verre aſſez épaiſſes & aſſez larges pour en tirer des verres lenticulaires de pluſieurs pieds de diametre. Un entr'autres avoit 3 pieds environ de diametre, & mettoit, à la diſtance de 12 pieds, le feu à toutes les matieres combuſtibles. Son foyer avoit à cette diſtance environ un pouce & demi de diametre ; mais lorſqu'il étoit queſtion de lui faire produire ſes grands effets, on rétréciſſoit, au moyen d'une ſeconde lentille parallele à la premiere, & placée à 4 pieds de diſtance, on rétréciſſoit, dis-je, ce foyer de maniere qu'il n'avoit plus que 8 lignes de diametre ; alors il fondoit les métaux, & vitrifioit les cailloux, les thuiles, les ardoiſes, la fayance, &c ; il produiſoit enfin les

mêmes effets que les miroirs ardents dont nous avons parlé plus haut.

On a vu à Paris, il y a une vingtaine d'années, un verre lenticulaire ſemblable, qu'on ſeroit tenté de croire être celui de M. Tchirnhauſen. Le verre en étoit jaunâtre & rayé, & celui à qui il appartenoit n'en demandoit pas moins de 12000 livres. Je doute qu'il ait trouvé des acheteurs.

On doit à M. de Bernieres, dont nous avons déja parlé, le moyen d'avoir à moindres frais des verres propres à produire les mêmes effets. Au moyen de ſon invention pour courber les glaſſes, il donne à deux glaſſes rondes la courbure ſphérique; & enſuite, les appliquant l'une à l'autre, il remplit leur intervalle d'eau diſtillée ou d'eſprit de vin. Ces verres, ou plutôt ces lentilles d'eau, ont le foyer un peu plus éloigné, & devroient, toutes choſes égales, faire un peu moins d'effet; mais la petite épaiſſeur du verre, & la tranſparence de l'eau, occaſionnent moins de perte dans les rayons qui les traverſent, qu'il n'y en a dans une lentille d'eau de pluſieurs pouces d'épaiſſeur. Enfin il eſt incomparablement plus aiſé de s'en procurer de cette forme, que de ſolides telles que celles de M. de Tchirnhauſen. M. de Trudaine vient de faire exécuter à ſes frais, par M. de Bernieres, une de ces loupes d'eau, de 4 pieds de diametre, avec laquelle on a déja fait quelques expériences phyſiques relatives à la calcination des métaux & d'autres ſubſtances. La chaleur qu'on s'eſt procurée par ſon moyen, eſt bien ſupérieure à celle de tous les miroirs & verres cauſtiques connus juſqu'à préſent, ainſi qu'à celle de tous les fournaux. On doit attendre de-là de nouvelles découvertes en chymie.

Nous devons ajouter ici, qu'avec des lentilles à eau beaucoup moindres, M. de Bernieres a fondu les métaux, les pierres vitrifiables, &c.

## PROBLÊME XLIV.

*De quelques autres propriétés des verres lenticulaires.*

1. SI un objet eſt extrêmement éloigné, enſorte qu'il n'y ait aucune proportion entre ſon éloignement & la diſtance du foyer du verre, il ſe peint au foyer du verre lenticulaire, une image de cet objet dans une ſituation renverſée. Cette expérience eſt celle qui ſert de baſe à la formation de la chambre obſcure. C'eſt ainſi que les rayons du ſoleil ou de la lune ſe réuniſſent au foyer d'une lentille de verre, dans un petit cercle qui n'eſt autre choſe que l'image du ſoleil même ou de la lune, comme il eſt aiſé de s'en aſſurer.

2. A meſure que l'objet s'approche du verre, l'image formée par les rayons partis de cet objet, s'éloigne du verre, enſorte que lorſque l'objet eſt éloigné du double de la diſtance du foyer, l'image ſe peint préciſément au double de cette diſtance; s'il continue de s'en approcher, l'image s'éloigne de plus en plus; & lorſque l'objet eſt au foyer, il ne ſe peint plus d'image; car c'eſt à une diſtance infinie qu'elle eſt cenſée ſe former: ainſi, dans ce cas, les rayons tombés en divergeant de chaque point de l'objet ſur le verre, ſont rompus de maniere qu'ils ſont renvoyés parallélement.

En général voici la maniere de déterminer la diſtance de la lentille où ſe forme l'image de l'objet. Pl. 11, Soit DE la diſtance de l'objet OC au verre, EF fig. 39.

celle du foyer du verre. Faites comme FD à FE, ainſi EF à EG, en prenant EG de l'autre côté du verre, lorſque ED eſt plus grande que EF; ce point G ſera celui de l'axe auquel répondra l'image du point D de l'objet qui eſt dans l'axe.

D'où il eſt aiſé de voir que, lorſque la diſtance de l'objet au foyer eſt nulle, la diſtance EG doit être infinie, c'eſt-à-dire qu'il ne ſçauroit y avoir d'image.

On doit auſſi remarquer que, lorſque EF eſt plus grande que ED, ou que l'objet eſt entre le verre & le foyer, la diſtance EG doit être priſe en ſens contraire, ou en deçà du verre, comme E*g*; ce qui indique que les rayons partis de l'objet, au lieu de peindre une image au-delà du verre, divergent comme s'ils partoient d'un objet placé en *g*.

### *Des Lunettes d'approche ou Téleſcopes, tant de réfraction que de réflexion.*

Parmi les inventions optiques, il n'en eſt aucune qui ne le cede à celle des téleſcopes ou lunettes d'approche; car, ſans parler des utilités nombreuſes que préſente dans l'uſage vulgaire ce merveilleux inſtrument, c'eſt à lui que nous devons les découvertes les plus intéreſſantes dans les aſtres. C'eſt par ſon moyen que l'eſprit humain eſt parvenu à s'élever juſques dans ces régions inacceſſibles aux hommes, & à y démêler les faits principaux qui ſervent de baſe à la phyſique céleſte.

La premiere lunette fut inventée vers l'an 1609, en Hollande. Il y a beaucoup d'incertitude ſur le nom de l'inventeur, & ſur la maniere dont il y parvint. On peut voir cette diſcuſſion dans l'*Hiſ-*

*toire des Mathématiques.* Il nous ſuffira ici de donner une idée des différentes eſpeces de lunettes, & de la maniere dont elles produiſent leur effet. Il y en a de réfraction & de réflexion.

### *Des Lunettes de réfraction.*

1. La premiere eſpece de lunette, & la plus communément en uſage, eſt compoſée d'un verre convexe qui eſt appellé *objectif*, parceque c'eſt celui qui eſt tourné vers les objets; & d'un verre concave qu'on appelle *oculaire*, parcequ'il eſt le plus voiſin de l'œil. Ils doivent être diſpoſés de maniere que le foyer poſtérieur de l'objectif coïncide avec le foyer poſtérieur du verre concave. Au moyen de cette diſpoſition, l'objet paroît groſſi dans le rapport de la diſtance du foyer de l'objectif à celle du foyer de l'oculaire. Ainſi, le foyer de l'objectif étant à 10 pouces de diſtance, & l'oculaire ayant le ſien à un pouce, l'inſtrument aura 9 pouces de longueur, & groſſira les objets 10 fois.

Cette ſorte de lunette d'approche eſt appellée *batavique*, à cauſe du lieu de ſon invention, ou de *Galilée*, parceque ce grand homme en ayant entendu parler, & s'étant mis à combiner des verres, y parvint de ſon côté, & fit par ſon moyen les découvertes dans le ciel qui l'ont immortaliſé. On ne fait au reſte aujourd'hui, ſuivant cette combinaiſon, que des lunettes très-courtes, parcequ'elles ont le défaut d'avoir un champ très-étroit, pour peu qu'elles aient de longueur.

2. La ſeconde eſpece de lunette eſt appellée *aſtronomique*, parceque les aſtronomes s'en ſer-

vent principalement. Elle eſt compoſée de deux verres convexes, diſpoſés de maniere que le foyer poſtérieur de l'objectif & le foyer antérieur de l'oculaire, coïncident enſemble, ou ſoient très-voiſins. L'œil doit être placé à une petite ouverture, éloignée de l'oculaire d'environ la diſtance de ſon foyer. Alors il appercevra un champ aſſez vaſte, & verra les objets renverſés, & groſſis dans le rapport des diſtances des foyers de l'objectif & de l'oculaire. Ainſi, en prenant encore pour exemple les proportions ci-deſſus, le téleſcope aſtronomique aura 12 pouces de longueur, & groſſira dix fois.

On peut, ſuivant cette combinaiſon de verres, faire des lunettes très-longues. Il eſt commun aux aſtronomes d'en employer de 12, 15, 20, 30 pieds de longueur. M. Huygens s'en étoit fait une de 123 pieds, & Hevelius en avoit une de 140. Mais la difficulté de ſe ſervir de lunettes auſſi longues, à cauſe du poids & de la flexion des tuyaux, y a fait aujourd'hui renoncer pour un autre inſtrument plus commode. M. Hartſoecker avoit fait un objectif de 600 pieds de foyer, qui auroit produit un effet extraordinaire s'il lui eût été poſſible de s'en ſervir. Cela n'eſt cependant pas abſolument impoſſible par des moyens que j'ai dans la tête, & que je communiquerai quelque jour.

3. L'incommodité des lunettes bataviques, qui ne laiſſent voir qu'une petite quantité d'objets à-la-fois, & celle de la lunette aſtronomique qui les repréſente renverſés, a fait imaginer une troiſieme diſpoſition de verres tous convexes, qui repréſente les objets droits, qui a le même champ que la lunette aſtronomique, & qui eſt par conſéquent propre pour les objets terreſtres: auſſi appelle-t-on

cette lunette du nom de *terreſtre*. Elle eſt compoſée d'un objectif convexe, & de trois oculaires égaux. Le foyer poſtérieur de l'objectif coïncide à l'ordinaire avec l'antérieur du premier oculaire ; le foyer poſtérieur de celui-ci coïncide pareillement avec le foyer antérieur du ſecond, & de même le foyer poſtérieur de celui-ci avec l'antérieur du troiſieme oculaire, au foyer poſtérieur duquel l'œil doit être placé. L'inſtrument groſſit toujours dans le rapport des diſtances des foyers de l'objectif & de l'un des oculaires. Mais il eſt aiſé de voir que la longueur eſt augmentée de quatre fois la diſtance du foyer de l'oculaire.

4. On pourroit auſſi, avec deux oculaires ſeulement, redreſſer l'apparence des objets : il faudroit, pour cela, que le premier oculaire fût éloigné du foyer de l'objectif de deux fois la diſtance de ſon foyer, & qu'à deux fois cette même diſtance, fût placé le foyer antérieur du ſecond oculaire. Voilà une lunette terreſtre à trois verres. Mais l'expérience a appris que cette diſpoſition déforme un peu les objets ; ce qui y a fait renoncer.

5. On a enfin propoſé des lunettes à cinq verres. Cette diſpoſition a été imaginée pour plier, pour ainſi dire, par degrés les rayons, & éviter les inconvénients d'une trop forte réfraction qui ſe fait tout-à-coup au premier oculaire, comme auſſi d'augmenter le champ de la viſion. J'ai même ouï parler de quelques lunettes de ce genre qui avoient eu un grand ſuccès ; mais je ne vois pas que l'uſage ait adopté cette combinaiſon.

6. Il y a quelques années qu'on a imaginé une nouvelle eſpece de lunette, à laquelle on donne le nom d'*achromatique*, parcequ'on y a corrigé les

défauts des autres lunettes à réfraction, défauts qui naiſſent de la différente réfrangibilité de la lumiere, laquelle produit dans les lunettes ordinaires les couleurs & la confuſion. Ces lunettes ne different des autres qu'en ce que l'objectif, au lieu d'être formé d'un ſeul verre lenticulaire, eſt compoſé de deux ou trois, qui ſont de différents verres que l'expérience a appris diſperſer inégalement les rayons différemment colorés qui compoſent la lumiere. L'un de ces verres eſt un verre cryſtallin, que les Anglois nomment *crown-glaſſ;* & l'autre eſt un verre mélangé de verre métallique : les Anglois l'appellent *flint-glaſſ.* Cet objectif, compoſé ſuivant les dimenſions déterminées par les géometres, peint à ſon foyer une image beaucoup plus diſtincte que les objectifs ordinaires; ce qui permet de ſe ſervir d'oculaires beaucoup plus petits ſans nuire à la diſtinction, & c'eſt ce que l'expérience confirme. On appelle auſſi ces lunettes, *lunettes à la Dollond*, parceque c'eſt cet artiſte Anglois qui en eſt l'inventeur. Il fait par ce moyen des lunettes d'une longueur médiocre, qui équivalent à d'autres beaucoup plus conſidérables; & l'on débite ſous ſon nom de petites lorgnettes un peu plus longues que celles d'opéra, avec leſquelles on peut appercevoir les Satellites de Jupiter. M. Anthéaume a fait à Paris, d'après les dimenſions données par M. Clairault, une lunette achromatique de 7 pieds de foyer, qui, comparée à une ordinaire de 30 à 35 pieds, produiſoit le même effet.

Cette invention permet d'eſpérer qu'on fera quelque jour dans le ciel des découvertes qui paroiſſoient, il y a peu d'années, fort éloignées de toute poſſibilité. Peut-être viendra-t-on à bout de

reconnoître dans la lune des traces d'habitation & d'animaux, des taches dans Mercure & Saturne; le Satellite de Vénus, ſi ſouvent vu, & ſi ſouvent perdu de vue.

Pour donner une idée ſenſible de la maniere dont les lunettes groſſiſſent l'apparence des objets, nous prendrons pour exemple celle qu'on appelle *aſtronomique*, comme étant la plus ſimple. On n'aura pas de peine à la concevoir, ſi l'on ſe rappelle qu'une lentille de verre convexe peint à ſon foyer une image renverſée des objets qui ſont à une grande diſtance. L'objectif de la lunette formera donc derriere lui, à la diſtance de ſon foyer, une image renverſée de l'objet vers lequel il ſera tourné. Or, par la conſtruction de l'inſtrument, cette image eſt au foyer antérieur de l'oculaire auquel l'œil eſt appliqué; conſéquemment l'œil l'appercevra diſtinctement; car c'eſt une choſe connue, qu'un objet étant placé au foyer d'un verre lenticulaire ou tant ſoit peu en deçà, on le voit diſtinctement à travers ce verre & dans le même ſens. L'image de l'objet qui en tient lieu ici étant donc renverſée, l'oculaire à travers lequel on la regarde ne la redreſſera pas, & l'on verra conſéquemment l'objet renverſé.

Quant à la grandeur, on démontre que l'angle ſous lequel on voit cette image, eſt à celui ſous lequel on voit l'objet, de la même place, comme la diſtance du foyer de l'objectif à celle du foyer de l'oculaire: de-là vient l'amplification de l'objet.

Dans les lunettes terreſtres, les deux premiers oculaires ne font que retourner l'image; ainſi cette lunette doit repréſenter les objets droits. Mais en voilà aſſez ſur les lunettes à réfraction. Paſſons à celles de réflexion.

*Des Téleſcopes à réflexion.*

Il ſuffit d'avoir bien connu la maniere dont les lunettes ordinaires repréſentent les objets, pour concevoir qu'on peut produire le même effet par la réflexion; car un miroir concave peint à ſon foyer, comme une lentille convexe, une image des objets éloignés. Si donc on trouve le moyen de réfléchir cette image ſur le côté ou en árriere, de maniere qu'on puiſſe la faire tomber au foyer d'un verre convexe, & la regarder au travers de ce verre, on aura un téleſcope de réflexion. Il n'eſt donc pas étonnant qu'avant Newton, & dès le temps de Deſcartes & Merſenne, on ait propoſé cette eſpece de téleſcope.

Mais Newton y fut conduit par des vues particulieres : il cherchoit à remédier au défaut de diſtinction des images peintes par des verres, défaut qui vient de la différente réfrangibilité des rayons de la lumiere qui ſe décompoſent. Tout rayon, de quelque couleur qu'il ſoit, ne ſe réfléchiſſant que ſous un angle égal à celui d'incidence, l'image eſt infiniment plus diſtincte, & mieux terminée dans toutes ſes parties. Il eſt aiſé d'en faire l'épreuve avec un miroir concave. Cela permettoit donc de lui appliquer un oculaire beaucoup plus petit, d'où devoit naître une augmentation beaucoup plus grande; & l'expérience a vérifié ce raiſonnement.

M. Newton n'a jamais conſtruit de téleſcopes que d'une quinzaine de pouces de longueur. Suivant ſa conſtruction, le miroir occupoit le fond du tube, & réfléchiſſoit vers ſon orifice l'image de l'objet. Vers cet orifice étoit placé un miroir plan, ſçavoir, la baſe d'un petit priſme iſoſcele rectangle,

rectangle, étamée, & inclinée à l'axe de 45°. Ce petit miroir réfléchiſſoit l'image ſur le côté où le tube étoit percé, & où étoit adaptée une lentille de verre d'un foyer très-court, qui étoit l'oculaire. On regardoit donc de côté l'objet, choſe commode dans bien des circonſtances. M. Hadley, écuyer, & de la Société royale de Londres, fabriqua en 1723 un téleſcope de cette eſpece, de 5 pieds de longueur, qu'on trouva faire le même effet que la lunette de 123 pieds, donnée à la Société royale par Huygens.

Les téleſcopes à réflexion, qui ſont les plus uſités aujourd'hui, ſont un peu différemment conſtruits. Au fond du tube eſt le miroir concave, qui eſt percé dans ſon milieu d'un trou rond. Vers le haut du tube eſt un miroir, quelquefois plan, tourné directement vers le fond, qui, recevant l'image vers le milieu de la diſtance du foyer, la réfléchit en bas près du trou du miroir objectif. A ce trou une lentille d'un court foyer eſt appliquée, & ſert d'oculaire; ou, ſi l'on veut redreſſer l'objet comme pour voir les objets terreſtres, on y adapte trois oculaires dans une diſpoſition ſemblable à celle des lunettes terreſtres.

On a un téleſcope qui groſſit encore beaucoup davantage, de cette maniere. Le miroir objectif eſt, comme dans tous les autres, au fond, & percé de ſon trou central pour faire place à l'oculaire. Au haut du tube eſt un miroir concave, d'un foyer moindre que l'objectif, & tellement diſpoſé, que la premiere image ſe peint tout près de ſon foyer, & un peu plus loin de ſa ſurface que n'eſt le foyer. Cela produit une autre image au-delà du centre, qui eſt d'autant plus grande, que la premiere eſt plus près du foyer: cette

image vient ſe peindre très-près du trou du miroir objectif, où l'oculaire eſt adapté comme à l'ordinaire.

Cette ſorte de téleſcope à réflexion s'appelle *grégorienne*, parceque Grégori l'avoit propoſée, même avant que Newton eût imaginé la ſienne. C'eſt aujourd'hui la plus uſitée.

Il y a encore celle de Caſſegrain, qui emploie un miroir convexe pour agrandir l'image formée par le premier miroir concave. M. Smith y a trouvé des avantages qui l'ont engagé à l'analyſer dans ſon *Optique*. Caſſegrain étoit un artiſte François, qui propoſoit cette conſtruction vers l'an 1665, & à peu près dans le même temps que Grégori propoſoit la ſienne. Il eſt certain que la longueur du téleſcope eſt conſidérablement raccourcie par ce moyen.

Les Anglois ont été pendant long-temps dans la poſſeſſion excluſive de réuſſir à ce genre d'ouvrage. C'eſt en effet un art très-difficile que celui de la compoſition & du poliſſage des miroirs de métal, néceſſaires pour ces inſtruments. M. Paſſement, célebre artiſte François, & les freres Paris & Gonichon, opticiens de Paris, ſont les premiers qui leur aient dérobé cette induſtrie. Ils ont fait les uns & les autres un grand nombre de téleſcopes de réflexion, dont quelques-uns même d'une longueur aſſez conſidérable, comme de 5 & 6 pieds. Parmi les Anglois, aucun artiſte ne s'eſt diſtingué à cet égard comme M. Short, & n'a fait de téleſcopes auſſi longs; car, outre pluſieurs téleſcopes de 4, 5, 6 pieds de longueur, il en a fait un de 12 pieds anglois, qui appartenoit, il y a une vingtaine d'années, au médecin du milord Maclesfield. En y appliquant la lentille du

plus court foyer qu'il puiſſe comporter, il groſſit environ 1200 fois. Auſſi dit-on que les Satellites de Jupiter y ont un diametre apparent ſenſible. Au reſte, ce téleſcope n'exiſte plus, à ce que j'ai ouï dire, le miroir objectif s'étant égaré.

Le plus long de tous les téleſcopes à réflexion qui aient été exécutés, eſt ſans contredit celui qu'on voit au Cabinet de phyſique & d'optique du Roi, à la Meute, & qui eſt l'ouvrage de dom Noël, religieux Benédictin, garde & démonſtrateur de ce Cabinet. Il avoit commencé à y travailler long-temps avant d'être à la tête de cet établiſſement, où il l'a achevé, & où il n'a tenu qu'aux curieux de le voir, & de contempler le ciel par ſon moyen. Il eſt monté ſur une eſpece de piédeſtal mobile; & il reçoit, malgré ſon poids énorme, ſon mouvement dans tous les ſens, par une mécanique fort bien entendue, & que peut mener l'obſervateur même: mais ce ne ſont-là que des acceſſoires. Ce qu'il ſeroit intéreſſant de ſçavoir, c'eſt ſon degré de bonté, & s'il produit un effet proportionné à ſa longueur, ou au moins conſidérablement plus grand qu'un des meilleurs & des plus longs téleſcopes à réflexion, fabriqués avant celui-là; car on ſçait aſſez que les effets de ces inſtruments, en leur ſuppoſant même degré de perfection dans le travail, ne croît pas en proportion de la longueur. La lunette de 123 pieds d'Huygens, quoiqu'excellente, puiſqu'il crut devoir en faire un préſent à la Société royale de Londres, ne produiſoit pas un effet quadruple d'une excellente lunette de 30 pieds; & il en doit être de même des téleſcopes à réflexion, où les difficultés du travail ſont encore plus grandes; enſorte que ſi un téleſcope de 24 pieds produiſoit

une moitié en ſus de l'effet d'un autre de 12 pieds, ou ſeulement le double d'un de 6 pieds, je crois qu'on devroit le regarder comme un bon ouvrage, & un pas de plus vers la perfection de l'art.

J'ai ouï dire qu'il n'avoit pas tenu à dom Noël de faire cette comparaiſon, & le moyen qu'il propoſoit eſt fort raiſonnable. Il y a long-temps que je le regarde comme l'unique qui ſoit propre à comparer de pareils inſtruments. C'eſt de fixer, à une diſtance de pluſieurs centaines de toiſes, des caracteres imprimés de toute dimenſion, & compoſants des mots barbares & ſans aucun ſens, afin que l'on ne puiſſe s'aider d'un ou de deux mots entrevus pour deviner le reſte. Le téleſcope par le ſecours duquel on lira les caracteres les plus menus, ſera inconteſtablement le plus parfait. J'ai vu au dôme des Invalides des affiches ſemblables, que dom Noël y avoit fixées pour faire cette comparaiſon. Mais, malheureuſement, de pareils inſtruments ne peuvent guere ſe rapprocher : il faudroit donc, ſans déplacer ces inſtruments, fixer à une diſtance convenue de chacun, des caracteres imprimés tels qu'on vient de dire, & que des perſonnes choiſies & nommées à cet effet, ſe tranſportaſſent dans les divers obſervatoires, en des temps abſolument ſemblables, & examinaſſent quels caracteres l'on pourroit lire avec chaque téleſcope. Ce moyen pourroit fournir une réponſe poſitive à la queſtion ci-deſſus.

J'aurois fort deſiré pouvoir conſidérer Jupiter & Saturne avec le téleſcope de dom Noël ; car, ayant bien nettement imprimé dans l'eſprit le degré de diſtinction avec lequel on apperçoit quelques détails des apparences de ces planetes, dans les meilleurs téleſcopes que j'ai eu occaſion de

voir dans mes divers voyages en Europe, j'aurois pu me former pour moi-même une idée de ce qu'on doit penſer de celui de dom Noël; mais un voyage précipité m'a empêché de ſatisfaire ma curioſité à cet égard: j'eſpere le faire à mon premier voyage à Paris.

## PROBLÊME XLV.

*Conſtruction d'une lunette par laquelle on peut conſidérer un objet différent de celui auquel on paroît mirer.*

COMME il eſt impoli de lorgner avec attention une perſonne, on a imaginé en Angleterre une ſorte de lorgnette, au moyen de laquelle, en paroiſſant conſidérer un objet, on en regarde réellement un autre. La conſtruction de cet inſtrument, bien fait pour avoir été imaginé à Paris, eſt fort ſimple.

Adaptez au devant d'une lorgnette d'opéra, dont l'objectif devient inutile, un tuyau percé d'un trou latéral, le plus large que le comportera le diametre de ce tuyau. Au devant de ce trou ſoit placé un miroir incliné à l'axe du tuyau d'un angle de 45°, & ayant ſa ſurface réfléchiſſante tournée du côté de l'objectif. Il eſt évident que, quand on dirigera cette lunette vis-à-vis ſoi, l'on n'appercevra qu'un des objets latéraux, ſçavoir, celui qui ſe trouvera ſitué aux environs de la ligne tirée de l'œil dans la direction de l'axe de la lunette, & réfléchie par le miroir. Cet objet paroîtra droit, mais tranſpoſé de droite à gauche. Au reſte, pour mieux déguiſer l'artifice, il convient de laiſſer le devant de la lunette garni d'un Pl. 11, fig. 40.

verre plan, qui figurera un objectif placé à la maniere ordinaire.

Cet inſtrument, qui n'eſt pas bien commun en France (*a*), ſeroit fort utile pour ſatisfaire ſa curioſité au ſpectacle, ſur-tout ſi le miroir étoit ſuſceptible d'être plus ou moins incliné; car tandis qu'on paroîtroit regarder le théâtre, on pourroit, ſans affectation, & ſans violer les loix de la politeſſe, conſidérer & analyſer une figure intéreſſante placée dans les loges. Falloit-il que la gloire d'avoir découvert un inſtrument ſi précieux, fût ravie par l'Angleterre à la nation Françoiſe!

Il faut pourtant dire que l'idée de cette inſtrument n'eſt pas extrêmement neuve; il y a déja long-temps que le fameux Hévélius, qui apparemment craignoit les coups de fuſil, (cela eſt au reſte permis à un aſtronome,) avoit propoſé ſon *polémoſcope*, ou lunette à voir à couvert & ſans danger des opérations de guerre, & ſur-tout de ſiege. C'étoit un tube à double coude, dans chacun deſquels ſe trouvoit un miroir plan, incliné de 45°. On dreſſoit ſur le parapet du côté de l'ennemi la premiere partie du tube; l'image réfléchie par le premier miroir incliné, enfiloit le tube perpendiculaire, & rencontrant le ſecond miroir, en étoit réfléchie horizontalement du côté de l'oculaire, près duquel l'œil étoit placé convenablement: on voyoit par-là, à l'abri d'un bon parapet, ce que faiſoit l'ennemi au dehors de la place. Le plus grand danger étoit d'avoir ſon objectif caſſé par une balle; ce qui étoit aſſurément un danger bien léger & bien éloigné.

(*a*) On peut en trouver à Paris, chez Sayde, opticien du Roi, vis-à-vis la ſtatue de Henri IV, ſur le Pont-Neuf.

## *Des Microſcopes.*

Ce que la lunette d'approche a été pour la phyſique céleſte, le microſcope l'eſt pour la phyſique ſublunaire ; car c'eſt par le ſecours de ce dernier inſtrument qu'on eſt venu à bout de découvrir un ordre d'êtres qui échappent à nos ſens, & de pénétrer dans la contexture de divers corps ; enfin, de reconnoître des phénomenes qui ſe paſſent uniquement entre les parties les plus inſenſibles de la matiere. Rien de ſi curieux que les faits dont le microſcope a mis à portée de s'aſſurer. Mais qu'il reſte encore à faire à cet égard !

Il y a deux ſortes de microſcope, le ſimple & le compoſé ; nous allons en parler ſucceſſivement, en commençant par le premier.

## PROBLÊME XLVI.

### *Conſtruction du Microſcope ſimple.*

I. TOUTE lentille convexe de verre, d'un foyer très-court, eſt un microſcope ; car l'on démontre qu'une lentille de verre groſſit l'objet dans le rapport de la diſtance de ſon foyer, à la moindre de celles où l'objet doit être placé pour être vu diſtinctement ; ce qui, pour la plupart des hommes non-myopes, eſt à environ 8 pouces. Ainſi une lentille dont le foyer eſt de 6 lignes, groſſira 16 fois l'une des dimenſions de l'objet ; ſi elle n'avoit qu'une ligne de foyer, elle la groſſiroit 96 fois.

II. Il eſt difficile de fabriquer une lentille de verre d'un ſi court foyer, car il faudroit que le rayon de chacune de ſes convexités fût ſeulement d'une ligne ; ce qui ſeroit difficile dans l'exécution : c'eſt pourquoi on leur ſubſtitue de petits globules de verre, fondus à la lampe d'é-

mailleur ou à la lumiere d'une bougie. Voici comment on s'y prend.

On égriſe du verre bien net & bien tranſparent, ſoit avec un égriſoir, ſoit avec les dents d'une clef; on prend enſuite, avec la pointe d'une aiguille un peu humectée de ſalive, un de ces fragments qui s'y attache, & on le préſente à la flamme bleue d'une bougie, qu'on tient un peu inclinée, afin que ce morceau de verre ne tombe pas dans la cire. A peine y eſt-il préſenté qu'il ſe fond, s'arrondit en globule, & tombe: ainſi il faut avoir au deſſous un papier avec un rebord, afin que le globule ſoit retenu.

Il faut remarquer qu'il y a des eſpeces de verre qui ſe fondent difficilement: dans ce cas, il faut en choiſir une autre. Les morceaux de tuyau de barometre qui viennent de Normandie, les fragments d'aigrettes, ſont d'une fuſibilité facile.

Parmi les globules ci-deſſus, choiſiſſez les plus nets & les plus ronds; prenez enſuite une lame de cuivre, de 5 à 6 pouces de longueur & de 6 lignes de largeur, que vous replierez en deux; vous les percerez d'un trou un peu moindre que le diametre du globule, & vous en ébarberez les bords; enfin engagez un des globules dans ce trou entre les deux lames, & liez le tout ſolidement: vous aurez un microſcope ſimple.

Comme il eſt aiſé d'avoir des globules de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ de ligne de diametre, & que le foyer d'un globule de verre eſt à un quart de ſon diametre en dehors, on a, par ce procédé, un moyen de groſſir énormément les objets: car ſi le globule n'a que $\frac{1}{2}$ ligne de diametre, ſi l'on fait ce rapport; comme les $\frac{1}{4}$ d'une demi-ligne ou les $\frac{1}{8}$ ſont à 96 lignes, ainſi 1 eſt à 153; ce nombre 153 exprimera l'augmen-

tation du diametre de l'objet ; ce qui fera en ſurface 23409 fois, & en ſolidité 3581677 fois.

Le célebre Lewenhoeck, fameux par ſes obſervations microſcopiques, n'a jamais employé d'autres microſcopes. Il eſt néanmoins certain qu'ils ſont ſujets à beaucoup d'incommodités, & l'on ne peut guere s'en ſervir que pour des objets tranſparents, ou au moins demi-tranſparents ; car on ſent aiſément qu'il n'eſt pas poſſible d'éclairer la ſurface qu'on conſidere autrement que par derriere. Quoi qu'il en ſoit, Lewenhoeck s'en eſt ſervi pour faire une foule d'obſervations curieuſes, qu'on verra dans le détail des obſervations microſcopiques.

III. Voici un autre microſcope bien plus ſimple ; c'eſt le microſcope d'eau de M. Gray.

On prend une lame de plomb, de $\frac{1}{3}$ de ligne d'épaiſſeur au plus ; on y fait un trou rond avec une aiguille ou une groſſe épingle, & on l'ébarbe ; on met enſuite dans ce trou, avec la pointe d'une plume, une petite goutte d'eau : ſes deux ſurfaces antérieure & poſtérieure s'y arrondiſſent en convexités ſphériques, & voilà un microſcope fait.

Le foyer d'un pareil globule eſt un peu plus éloigné que celui d'un globule égal de verre ; car le foyer d'un globule d'eau eſt à la diſtance du rayon en dehors. Ainſi un globule d'eau de $\frac{1}{2}$ ligne de diametre, ne groſſira que 128 fois ; mais cela eſt bien compenſé par la facilité de s'en procurer d'un diametre auſſi petit que l'on veut.

Si l'on ſe ſert d'une eau dans laquelle on ait fait infuſer à l'air des feuilles, du bois, du poivre, de la farine, ce microſcope ſera à-la-fois l'objet & l'inſtrument ; car on verra, par ce moyen, les petits animaux microſcopiques que cette liqueur contiendra. M. Gray fut fort étonné la premiere

fois qu'il vit pareille choſe. Il fit enſuite réflexion que la ſurface poſtérieure de la goutte faiſoit à l'égard de ceux de ces animaux qui ſe trouvoient entr'elle & ſon foyer, l'effet d'un miroir concave qui groſſiſſoit d'abord leur image, laquelle étoit encore groſſie par l'eſpece de lentille convexe de la ſurface antérieure. Telle eſt la cauſe de ce phénomene.

IV. On peut encore avoir à moindre frais un microſcope : il faut percer, pour cet effet, dans une carte ou une lame de métal très-mince, un trou d'un quart ou d'un cinquieme de ligne de diametre : vous pourrez voir par ce moyen des objets extrêmement petits, & ils vous paroîtront groſſis en raiſon de leur diſtance à l'œil, à celle où l'on apperçoit diſtinctement l'objet avec l'œil nu.

On a fort vanté dans un journal de Trevoux cette eſpece de microſcope ; mais, je l'avoue, je n'ai guere pu voir diſtinctement, par de pareils trous, de petits objets qu'à un pouce ou un demi-pouce de diſtance ; auſſi ne me paroiſſent-ils pas extrêmement groſſis.

## PROBLÊME XLVII.

### *Des Microſcopes compoſés.*

Le microſcope compoſé eſt formé d'un objectif, qui eſt une lentille d'un très-court foyer, comme de 6 ou 4 lignes. A la diſtance de quelques pouces, comme de 6 à 8, eſt un oculaire d'une couple de pouces de foyer. L'objet doit être placé un peu au-delà du foyer de l'objectif, & l'œil éloigné de l'oculaire à peu près à la diſtance de ſon foyer. Ayant une combinaiſon de verres ſemblable, ſi vous approchez doucement l'objet

de l'objectif, il y aura un point où vous le verrez conſidérablement groſſi.

Le mécaniſme de cet effet eſt aiſé à concevoir. L'objet placé un peu au-delà du foyer de l'objet, peint, comme on l'a vu plus haut, à pluſieurs pouces de diſtance derriere le verre, une image qui eſt à l'objet, comme la diſtance de cette image au verre eſt à celle de l'objet à ce même verre. Cette image étant placée au foyer de l'oculaire, qui n'eſt que de quelques pouces, eſt apperçue diſtinctement, & encore augmentée par cet oculaire: ainſi elle doit paroître conſidérablement groſſie.

Que l'objectif ſoit, par exemple, de 4 lignes de foyer, & que l'objet en ſoit à $4\frac{1}{4}$ lignes; l'image ſe formera, par le problême, à 64 lignes de diſtance, ou 5 pouces 4 lignes: ainſi elle ſera 15 fois auſſi grande que l'objet; car 64 eſt à peu près à $4\frac{1}{4}$, comme 15 eſt à 1. Que l'oculaire au foyer duquel ſe peint cette image ait 2 pouces de foyer, il groſſira environ quatre fois: multipliez 15 par 4, vous aurez 60: ce ſera le nombre de fois que l'objet paroîtra groſſi en diametre.

Si vous voulez qu'il paroiſſe moins groſſi, éloignez graduellement l'objet de l'objectif, & rapprochez l'oculaire; vous verrez l'objet moins gros, mais plus diſtinct.

Au contraire, ſi vous voulez le groſſir davantage, avancez inſenſiblement l'objet vers l'objectif, ou l'objectif de l'objet, & éloignez l'oculaire; vous verrez l'objet d'autant plus gros. Mais il y a des limites au-delà deſquelles on ne voit plus que confuſion.

Au lieu d'un ſeul oculaire, on ſe ſert quelquefois, pour augmenter le champ de la viſion, d'un double oculaire, dont le premier verre eſt de 4 à 5 pouces

de foyer, & le ſecond beaucoup moindre; mais c'eſt toujours la même choſe. L'image du petit objet doit être placée à l'égard de cet oculaire compoſé, au même point où devroit être un objet pour être apperçu diſtinctement au travers.

On pourroit ſe ſervir d'un oculaire concave, en faiſant enſorte que ſon foyer poſtérieur coïncidât avec l'image; ce ſeroit une eſpece de microſcope analogue à la lunette batavique, & qui auroit le même inconvénient, ſçavoir, celui de n'avoir qu'un champ très-étroit.

Il y a auſſi des microſcopes comme des téleſcopes de réflexion: le principe en eſt le même. Un très-petit objet, placé fort près du foyer d'un miroir concave, & en-deçà à l'égard du centre, peint une image au-delà du centre, laquelle eſt d'autant plus grande qu'il eſt plus près du foyer. Cette image eſt conſidérée avec une lentille convexe, & l'on peut ſe ſervir ici d'un oculaire de foyer beaucoup plus court; ce qui contribue d'autant plus à l'amplification de l'objet.

On peut voir toute cette matiere des microſcopes, traitée à fond dans le *Microſcope mis à la portée de tout le monde*, ouvrage très-curieux, & traduit de l'anglois de Baker: il ſe trouve chez Jombert. On peut auſſi conſulter la IV^e^ Partie de l'*Optique* de Smith, nouvellement traduite de l'anglois. On verra dans ces ouvrages, & ſurtout dans le premier, une infinité de détails curieux ſur la maniere d'employer ces microſcopes, & ſur les obſervations faites par leur moyen. *Voyez* auſſi les *Eſſais de Phyſique* de Muſſenbroeck.

Notre deſſein eſt de faire connoître les obſervations les plus curieuſes qu'on a faites à l'aide du microſcope: mais, pour ne pas interrompre notre

ſujet, nous les renverrons à la fin de cette partie de notre ouvrage.

## PROBLÊME XLVIII.

*Maniere fort ſimple de juger de la grandeur réelle des objets vus dans le microſcope.*

IL eſt ſouvent utile, & c'eſt du moins toujours un objet de curioſité, de connoître la grandeur réelle de certains objets qu'on examine au moyen du microſcope: voici un moyen fort ſimple & très-ingénieux, de l'invention du docteur Jurin, ancien ſecrétaire de la Société royale de Londres, & phyſicien célebre.

Prenez du fil d'argent trait, auſſi délié qu'il eſt poſſible, & enroulez le, auſſi ſerré que vous le pourrez, ſur un petit cylindre de fer ayant quelques pouces de longueur. Il faudra examiner avec le microſcope s'il n'y a point de vuide: vous connoîtrez par-là avec beaucoup de préciſion le diametre de ce fil d'argent. Car, ſuppoſons qu'il y en eût 520 tours dans l'eſpace d'un pouce, il eſt évident que le diametre de ce fil ſeroit la 520$^{e}$ partie d'un pouce, meſure qu'aucune autre maniere ne ſçauroit donner.

Coupez enſuite en très-petits morceaux ce fil d'argent, & diſperſez-en une certaine quantité ſur la platine objective, celle ſur laquelle on place les objets à examiner: vous verrez ces fils dans le microſcope, & vous jugerez aiſément du rapport de groſſeur des objets que vous conſidérerez, avec le rapport de ces fils; d'où vous conclurez la dimenſion de ces objets.

C'eſt par un procédé ſemblable que M. Jurin a déterminé la groſſeur des globules qui donnent

au ſang ſa couleur rouge. Il trouva d'abord que le diametre de ſon fil d'argent étoit la 485e partie d'un pouce ; & il jugea enſuite, par comparaiſon, que le diametre d'un globule rouge du ſang étoit le quart de celui du fil ci-deſſus ; d'où il conclud que le diametre de ce globule étoit la 1440e partie d'un pouce.

## PROBLÊME XLIX.

*Conſtruire un tableau magique, ou tel qu'étant vu dans un certain point & à travers un verre, il préſentera un objet tout différent de celui qu'on verra à l'œil nu.*

COMME ce problême optique ſe réſoud au moyen d'un verre à facettes, nous allons d'abord donner une idée de ces ſortes de verres.

Les verres à facettes ſont des verres lenticulaires, ordinairement plans d'un côté, & de l'autre taillés à pluſieurs faces en forme de polyedres. Tel eſt celui repréſenté par les *fig.* 41 & 42, de côté & de face, il eſt compoſé d'une facette plane & enneagonale au centre, & de ſix trapezes rangés à la circonférence.

Pl. 12, fig. 41, 42. Ces verres ont la propriété de repréſenter autant de fois le même objet qu'il y a de facettes ; car, ſuppoſant cet objet O, il envoie des rayons ſur toutes les faces du verre, AD, DC, CB. Ceux qui traverſent la facette DC, paſſent comme à travers une glaſſe plane interpoſée entre l'œil & l'objet ; mais les rayons tombants de O ſur la facette AD inclinée, éprouvent une double réfraction qui les fait converger vers l'axe OE, à peu près comme ils feroient s'ils tomboient ſur la ſurface ſphérique dans laquelle le verre polyedre ſe-

roit inſcrit. L'œil étant placé au point commun de concours, il apperçoit le point O en ω dans la prolongation du rayon EF ; conſéquemment on verra encore une image du point O différente de la premiere. La même choſe ayant lieu à l'égard de chaque facette, on verra l'objet autant de fois qu'il y en a dans le verre, & en des lieux différents.

Maintenant, ſi on ſuppoſe un point lumineux dans l'axe du verre, & à une diſtance convenable, tous les rayons qui tomberont ſur une facette, iront peindre, après une double réfraction, ſur un carton blanc perpendiculaire à l'axe prolongé, une image de cette facette plus ou moins grande, & qui à une certaine diſtance ſera renverſée. Conſéquemment, ſi, au lieu du point lumineux, nous ſuppoſons l'œil, & que cette image ſoit elle-même lumineuſe ou colorée, les rayons partants de cette image ou partie du carton, aboutiront à l'œil ; & ils ſeront les ſeuls qui y parviendront, après avoir éprouvé une réfraction ſur cette même facette : & faiſant un pareil raiſonnement pour toutes les autres, il eſt aiſé de voir que l'œil étant placé à un point fixe, il verra par chaque facette une certaine portion ſeulement du carton, & que toutes enſemble rempliront le champ de la viſion, quoique détachées ſur le carton ; enſorte que ſi ſur chacune eſt peinte une certaine partie d'un tableau régulier & continu, toutes enſemble repréſenteront ce tableau même. L'artifice du tableau magique propoſé, conſiſte donc, après avoir fixé le lieu de l'œil, celui du verre & le champ du tableau, à déterminer les portions de ce tableau qui ſeules ſeront vues au travers du verre ; à peindre ſur chacune la portion déterminée & convenable d'un tableau donné, d'un portrait, par exem-

ple, enſorte que, réunies enſemble, il en réſulte ce portrait même; à remplir enfin le reſte du champ du tableau de ce qu'on voudra, en raccordant le tout enſemble de maniere qu'il en réſulte un tableau régulier.

Tel eſt le principe de ce jeu optique. Entrons à préſent dans les détails de la pratique.

Pl. 12, fig. 43. La *fig.* 43 repréſente une table ABCD, à l'extrémité de laquelle eſt adaptée perpendiculairement & fixément une planche garnie de deux rainures, qui ſervent à y gliſſer une planchette, garnie à ſa ſurface antérieure d'une feuille de papier blanc, ou d'une toile à peindre. C'eſt-là le champ du tableau à exécuter. EDH eſt un ſupport vertical, qui doit être ſuſceptible d'être approché ou éloigné de ce tableau, & qui doit porter un tuyau garni à ſon extrémité antérieure d'un verre à facettes, & à l'autre d'un carton percé à ſon centre d'un trou d'aiguille ſeulement. Ce trou eſt la place de l'œil. Nous ſuppoſerons ici le verre plan d'un côté, & compoſé de ſix facettes rhomboïdales appuyées au centre, & de ſix autres triangulaires qui occupent le reſtant de l'exagone.

Ayant tout ainſi préparé, on fixera le pied EDH à un certain éloignement du champ du tableau, ſelon qu'on voudra que les parties de la figure à deſſiner ſoient plus voiſines ou plus écartées les unes des autres. Mais il eſt à propos que cette diſtance ſoit au moins quadruple du diametre de la ſphere à laquelle le polyedre du verre ſeroit circonſcrit, & la diſtance de l'œil à ce verre peut commodément être égal à deux fois ce diametre. On placera donc l'œil au trou K ainſi déterminé; puis, & avec un bâton garni d'un crayon, (ſi la main ne peut y atteindre,) on tracera avec toute la légéreté

légéreté poſſible, le contour de l'eſpace qu'on appercevra à travers une facette, puis à travers ſa voiſine, & ainſi ſucceſſivement. Cette opération exige beaucoup de préciſion & de patience, car il faut, pour la perfection de l'ouvrage, que les deux eſpaces apperçus par deux facettes contiguës, ne paroiſſent laiſſer entr'elles aucun intervalle perceptible : à tout prendre, il vaudroit mieux qu'ils empiétaſſent tant ſoit peu l'un ſur l'autre. On aura ſoin auſſi de numéroter chacun de ces eſpaces, du même numéro qu'on aura aſſigné à la facette, afin de ſe reconnoître. Cela ſeroit au ſurplus aiſé, en faiſant attention que l'eſpace répondant à chaque facette eſt toujours tranſporté parallélement à lui-même de haut en bas, ou de droite à gauche, de l'autre côté du centre.

Il s'agit préſentement de tracer le tableau régulier qu'on veut appercevoir, & de le tranſporter ſur les eſpaces du tableau déformé. A toute rigueur, il faudroit pour cela faire une projection du verre à facette, en ſuppoſant l'œil à la diſtance où on le place réellement; mais, comme on l'en ſuppoſe un peu loin, on pourra, ſans erreur ſenſible, prendre pour le champ du tableau régulier, la projection verticale, ainſi qu'on la voit dans la *fig.* 44, n° 1, qui le repréſente tel qu'on le verroit ſi on avoit l'œil perpendiculairement au deſſus de ſon centre & à une diſtance très-conſidérable. Pl. 12, fig. 44, n° 1 & 2.

Vous décrirez donc dans ce champ, qui ſera ici exagone, & compoſé de 6 rhomboïdes & de 6 triangles, une figure quelconque, par exemple un portrait; après quoi, en conſidérant que l'eſpace *a b c d* eſt le lieu où doit paroître la portion 1 du tableau, vous l'y tranſporterez avec le plus de ſoin que vous pourrez; vous en ferez autant des

autres, & vous aurez la principale partie de votre tableau faite. Mais, comme il eſt queſtion de montrer autre choſe que ce qu'on doit voir, on la déguiſera au moyen de quelqu'autre peinture qu'on exécutera dans le ſurplus du tableau, en ſe raccordant avec ce qui eſt déja fait de maniere que cela ſerve au ſujet principal. Cela dépend du génie & du goût de l'artiſte.

On trouve dans la *Perſpective curieuſe* du pere Niceron, une explication beaucoup plus détaillée de tout ce procédé. Ceux à qui ceci ne ſuffira pas, ſont invités à y recourir. Ce même pere Niceron nous dit avoir exécuté à Paris, & mis dans la bibliotheque des peres Minimes de la Place Royale, ſes confreres, un tableau de ce genre, qui, vu à l'œil nu, préſentoit une quinzaine de portraits de ſultans Turcs; mais, régardé à travers le verre, c'étoit le portrait de Louis XIII.

On a vu en 1759, au ſallon ou à l'expoſition des ouvrages de l'Académie Royale de Peinture, un tableau de M. Amédée Vanloo, qui étoit beaucoup plus ingénieux. A l'œil ſimple, c'étoit un tableau allégorique, repréſentant les différentes Vertus avec leurs attributs, grouppées ingénieuſement; mais, lorſqu'on regardoit à travers le verre, on y trouvoit le portrait de Louis XV.

## *REMARQUES.*

1. IL eſt néceſſaire d'obſerver que la place du verre, étant une fois fixée, doit être invariable; car, comme les verres ne ſçauroient être d'une régularité parfaite, ſi on les déplace, il eſt preſque impoſſible de jamais les remettre au point convenable : c'eſt pourquoi il eſt auſſi néceſſaire

de s'assurer que le verre est d'une bonne qualité; car s'il est trop alkalin, & qu'il vienne à perdre son poli par le contact de l'air, on ne pourra plus lui en substituer un qui produise le même effet. C'est un accident que j'ai ouï dire être arrivé au verre du tableau de M. Amédée Vanloo.

2. Au lieu d'un verre comme celui qui a servi à l'exemple ci-dessus, ou un plus composé, on pourroit se servir d'un simple verre pyramidal; ce qui simplifieroit beaucoup le problême.

3. On pourroit aussi se servir d'un verre qui fût une portion de prisme taillée à un grand nombre de pans paralleles à l'axe : alors la peinture à voir au travers du verre, devroit être dessinée dans des bandes paralleles.

4. On pourroit former un verre de plusieurs surfaces coniques concentriques, ou de plusieurs surfaces sphériques de différents diametres, semblablement concentriques; & alors la peinture à voir au travers du verre, devroit être distribuée en différents anneaux concentriques.

5. On peut former un tableau magique par réflexion. Il faudra pour cela avoir un miroir de métal à facettes, bien poli, & à arêtes bien vives. On placera devant ce miroir, & perpendiculairement à son axe, un carton ou une toile, &, par les mêmes principes que ci-dessus, on y décrira un tableau qui, vu à l'œil nu & en face, représentera un certain sujet; mais si, par un trou ménagé dans le tableau, on le regarde dans le miroir, on y verra toute autre chose.

## PROBLÊME L.

*Conſtruction d'une lanterne artificielle, avec laquelle on puiſſe lire la nuit de fort loin.*

FAITES une lanterne qui ait la forme d'un cylindre ou d'un petit tonneau, ſitué ſelon ſa longueur, ou enſorte que ſon axe ſoit horizontal; mettez à un de ſes fonds un miroir parabolique, ou ſimplement un miroir ſphérique dont le foyer ſoit vers le milieu de la longueur du cylindre; à ce foyer ſoit placée la flamme d'une bougie ou d'une lampe: cette lumiere ſe réfléchira fort loin en paſſant par l'autre fond, & ſera ſi éclatante, que de nuit on pourra lire très-loin des lettres très petites, en les regardant avec une lunette. Ceux enfin qui verront de loin cette lumiere, en ſe trouvant dans l'axe prolongé de la lanterne, croiront voir un grand feu.

## PROBLÊME LI.

*Conſtruction de la Lanterne magique.*

ON donne, comme tout le monde ſçait, le nom de *lanterne magique*, à un inſtrument optique, au moyen duquel on repréſente ſur un mur ou un drap blanc des objets extrêmement groſſis. Cet inſtrument, dont l'inventeur eſt, je crois, le P. Kircher, Jéſuite, a fait une telle fortune, qu'il eſt devenu la reſſource d'une foule de gens qui gagnent leur vie à montrer ce petit ſpectacle au peuple. Mais, quoique tombé en des mains viles, il n'eſt pas moins ingénieux, & mérite de trouver place ici. En voici donc la conſtruction, avec quelques ob-

ſervations propres à le perfectionner & à le rendre plus intéreſſant.

Pour ſe former une lanterne magique, il faut faire faire avec du fer-blanc, du cuivre ou du bois, une boîte quarrée, d'environ un pied en tout ſens; on en percera vers le milieu le fond de devant, d'un trou d'environ 3 pouces de diametre, auquel on ſoudera ou viſſera un tuyau. L'ouverture de ce tuyau du côté de la boîte, doit être garnie d'un verre lenticulaire bien tranſparent, & ayant ſon foyer vers les deux tiers ou les trois quarts de la profondeur de la boîte, où l'on placera une lampe garnie d'une forte meche, pour qu'elle donne une vive lumiere. Il faudra, pour plus de perfection de la machine, que cette lampe ſoit ſuſceptible d'être approchée ou éloignée, enſorte qu'on puiſſe la placer bien exactement au foyer du verre. On pourra auſſi, pour éviter l'aberration de ſphéricité, former la lentille dont nous venons de parler, de deux lentilles d'un foyer double chacune. Cela me paroît propre à contribuer beaucoup à la diſtinction de la peinture. Pl. 13, fig. 45.

Le tuyau ſoudé ou viſſé à la caiſſe, doit être interrompu, à peu de diſtance du trou, par une boîte quarrée, percée latéralement de deux rainures propres à faire gliſſer une petite planchette d'environ 4 pouces de largeur, ſur la longueur qu'on voudra. Cette planchette ſervira de cadre à un verre ſur lequel ſeront peints, avec des couleurs tranſparentes, tels objets que l'on jugera à propos. On choiſit ordinairement des ſujets groteſques & bizarres. Fig. 46.

On fera entrer dans la partie antérieure de ce tuyau, un autre tuyau garni d'un verre lenticulaire de 3 pouces environ de foyer, que

l'on pourra, par ce moyen, approcher ou éloigner à volonté.

Telle eſt la conſtruction de la machine : en voici l'effet. La lampe étant allumée, & la lanterne étant placée ſur une table, à l'oppoſite d'un mur blanchi, on fermera, ſi c'eſt le jour, toutes les fenêtres de la chambre ; on introduira par les rainures ci-deſſus un des petits tableaux dont nous avons parlé, dans une ſituation renverſée ; enſuite on approchera ou l'on éloignera le verre mobile : on verra, lorſqu'il ſera au point convenable, les figures de ce tableau dépeintes ſur la muraille, & énormément groſſies.

Si l'on garnit l'autre extrémité du tuyau mobile d'une lentille d'un foyer beaucoup plus éloigné, le champ de la lumiere ſera augmenté, & les figures groſſies à proportion. Il eſt à propos de placer à ce tuyau mobile, & à la diſtance à peu près du foyer de la premiere lentille, un diaphragme ; il ſervira à écarter les rayons des objets latéraux, ce qui contribuera beaucoup à la diſtinction de la peinture.

Nous avons dit qu'il faut que les petites figures à repréſenter ſoient peintes avec des couleurs tranſparentes. Ces couleurs ſont, pour le rouge, une forte infuſion de bois de Bréſil ou de cochenille, ou le carmin, ſuivant la teinte qu'on voudra ; pour le vert, une diſſolution de vert-de-gris, ou, pour les verts foncés, de vitriol martial ; pour le jaune, l'infuſion de baies de nerprun ; pour le bleu, la diſſolution de vitriol de Chypre. Ces trois ou quatre couleurs ſuffiſent, comme tout le monde ſçait, pour former toutes les autres. On leur donnera de la conſiſtance & de la tenue, au moyen d'une eau gommée bien tranſpa-

rente & bien blanche, & l'on s'en ſervira pour peindre ſur le verre.

Il faut convenir que dans la plupart des machines de ce genre, ces peintures ſont ſi groſſiérement faites, qu'on ne peut les voir ſans quelque dégoût. Mais lorſqu'elles ſont exécutées avec propreté & avec entente dans le deſſin, on ne peut ſe refuſer à goûter quelque plaiſir à cette petite repréſentation optique.

## PROBLÊME LII.

### *Conſtruction du Microſcope ſolaire.*

LE microſcope ſolaire, dont l'invention eſt due à M. Liéberkün, n'eſt proprement qu'une eſpece de lanterne magique dans laquelle le ſoleil fait la fonction de la lampe, & les petits objets expoſés ſur un verre ou à la pointe d'une aiguille, celle des figures peintes ſur le verre mobile de la lanterne magique. Mais en voici une deſcription plus détaillée.

Faites au volet d'une fenêtre un trou rond, & d'environ 3 pouces de diametre. Ce trou doit être garni d'un verre lenticulaire d'environ 12 pouces de foyer. A ce même trou doit être adapté intérieurement un tuyau garni, à peu de diſtance du premier verre, d'une couliſſe ou rainure dans laquelle on puiſſe faire couler une ou deux lames de verre fort déliées, ſervant à porter, au moyen d'un peu d'eau gommée bien tranſparente, les objets qu'on veut regarder. Faites entrer dans ce tuyau, un autre tuyau garni à ſon extrémité antérieure d'une lentille d'un court foyer, comme d'un demi pouce. Enfin adaptez extérieurement au devant du trou, un miroir au moyen duquel vous

puiſſiez jeter la lumiere du ſoleil dans le tube ci-deſſus : vous aurez votre microſcope ſolaire conſtruit. Vous vous en ſervirez de la maniere ſuivante.

La chambre étant bien obſcurcie, & le ſoleil étant réfléchi dans l'axe des verres au moyen du miroir ci-deſſus, mettez quelque petit objet entre les deux lames de verre mobiles, ou attachez-le à l'une d'elles, avec de l'eau légérement gommée & bien tranſparente ; placez cet objet dans l'axe du tuyau, & avancez ou reculez le tuyau mobile, enſorte que l'objet ſoit un peu au-delà du foyer : vous le verrez peint diſtinctement ſur un carton ou linge blanc placé à la diſtance convenable, & il y paroîtra exceſſivement groſſi. Le plus petit inſecte, une puce par exemple, y paroîtra, ſi l'on veut, groſſe comme un mouton, un cheveu comme un gros bâton ; les anguilles du vinaigre ou de la colle de farine, y auront l'apparence de petits ſerpents.

*REMARQUE.*

COMME le ſoleil n'eſt pas immobile, il réſulte de-là un inconvénient, ſçavoir, que le ſoleil paſſe avec rapidité, & qu'il faut continuellement rajuſter le miroir extérieur. Mais M. s'Graveſande y a remédié par une machine fort ingénieuſe, & au moyen de laquelle le miroir a un mouvement qui ramene toujours les rayons ſolaires dans le tube. Cela a fait donner à cette machine le nom de *ſol-ſta.*

On peut voir des détails curieux ſur le microſcope ſolaire, dans la traduction françoiſe en 2 vol. in-4° de l'*Optique* de Smith : on y explique pluſieurs inventions utiles pour le perfectionner,

qui ſont dues à M. Euler. On y voit auſſi comment on peut le rendre propre à repréſenter des objets opaques. Cette derniere invention eſt due à M. Æpinus. Elle conſiſte à réfléchir, par le moyen d'une grande lentille & d'un miroir, la lumiere du ſoleil condenſée ſur la ſurface de l'objet qui eſt préſenté à la lentille objective du microſcope. Un opticien Suiſſe, M. Mumenthaler, a propoſé pour cela un autre expédient.

Il y a cependant encore un inconvénient dans les microſcopes ſolaires: il conſiſte en ce que les objets étant fort voiſins du foyer de la premiere lentille, y éprouvent une chaleur qui les brûle ou les dénature bientôt. Le docteur Hill, qui a beaucoup fait uſage de ce microſcope, a propoſé, par cette raiſon, de ſe ſervir de pluſieurs lampes, dont la lumiere réunie en un foyer eſt très-éclatante, & n'a pas l'inconvénient ci-deſſus. J'ignore s'il a réduit cette idée en pratique, & avec quel ſuccès.

## PROBLÊME LIII.

*Des Couleurs, & de la différente réfrangibilité de la Lumiere.*

Une des plus belles découvertes du ſiecle dernier, eſt celle que fit en 1666 le célebre Newton ſur la compoſition de la lumiere & la cauſe des couleurs. Qui eût cru que le blanc, qui paroît une couleur ſi pure, ne fût autre choſe que le réſultat de ſept couleurs primitives, inaltérables, & mêlées enſemble dans un certain rapport? C'eſt néanmoins ce qui réſulte de ſes expériences.

L'inſtrument qui lui ſervit à décompoſer ainſi la lumiere, eſt le priſme, inſtrument bien connu, mais juſqu'alors ſimplement objet d'une curioſité ſtérile, à cauſe des couleurs dont il borde les objets

qu'on regarde à travers. Nous nous bornons à deux des expériences de Newton, & à en tirer les conſéquences qui en ſont la ſuite.

Pl. 13, fig. 47. Laiſſez entrer dans une chambre obſcurcie avec ſoin, un rayon de lumiere ſolaire, d'un pouce ou un demi-pouce de diametre; recevez-le ſur un priſme placé horizontalement, au-delà duquel doit être un carton blanc; tournez le priſme de maniere que l'image ſemble s'arrêter: vous verrez ſur ce carton, au lieu d'une image du ſoleil à peu près ronde, une longue bande perpendiculaire, dans laquelle vous compterez ſept couleurs, dans cet ordre invariable; *rouge*, *orangé*, *jaune*, *vert*, *bleu*, *indigo*, *violet*. Le rouge ſera en bas quand l'angle du priſme y ſera, & au contraire; mais l'ordre ſera toujours le même.

De-là, & de diverſes autres expériences analogues, Newton conclud,

1° Que la lumiere du ſoleil contient ces ſept couleurs primitives;

2° Que ces couleurs ſont formées par des rayons qui éprouvent des réfractions différentes, & qu'en particulier le rouge eſt celle qui eſt le moins rompue; vient enſuite l'orangé; &c. enfin que le violet eſt celui de tous qui ſouffre, ſous la même inclinaiſon, la plus grande réfraction. Pour peu qu'on ſoit géometre, on ne peut ſe refuſer à ces conſéquences.

Mais l'expérience délicate eſt celle par laquelle Newton prouve que ces rayons différemment colorés ſont enſuite inaltérables. Voici comment il faut s'y prendre pour ne pas s'expoſer, comme plus d'un phyſicien, à contredire ce grand homme par une expérience imparfaite.

Il faut d'abord que le trou de la chambre obſ-

eure ſoit réduit à une ligne tout au plus de diametre, & qu'elle ſoit obſcurcie avec le plus grand ſoin. Cela fait, recevez le rayon ſolaire à 12 ou 15 pieds de diſtance du trou, ſur une grande lentille de verre de 7 à 8 pieds de foyer. Tout près de ce verre & au-delà, ſoit poſé le priſme qui recevra ce filet de lumiere. Enfin ſoit placé un carton blanc, à telle diſtance que l'image ſolaire s'y peindroit diſtinctement ſans l'interpoſition du priſme : vous verrez, au lieu d'une image ronde, ſe peindre ſur le carton une bande très-étroite, & colorée, comme on l'a vu plus haut, des ſept couleurs primitives.

Percez enfin ce carton d'un trou d'une ligne environ de largeur, par lequel vous ferez paſſer telle couleur que vous voudrez, en ayant l'attention de la prendre vers le milieu de l'eſpace qu'elle occupe, & vous la recevrez ſur un ſecond carton placé derriere le premier. Préſentez-lui un priſme; vous verrez qu'elle ne donnera plus d'image alongée, mais une image ronde & de la même couleur. De plus, ſi vous plongez dans cette lumiere colorée un objet quelconque, vous le verrez teint de ſa couleur; & ſi vous regardez cet objet avec un troiſieme priſme, vous ne lui appercevrez point d'autre couleur que celle dans laquelle il eſt plongé, & cela ſans aucun alongement, comme lorſqu'il eſt plongé dans une lumiere ſuſceptible de décompoſition.

Cette expérience, qui eſt aujourd'hui un jeu pour les phyſiciens un peu exercés, prouve le troiſieme des faits principaux avancés par Newton, ſçavoir;

3° Que lorſqu'une couleur eſt épurée du mélange des autres, elle eſt inaltérable; qu'un rayon

rouge, quelque réfraction qu'on lui faſſe ſouffrir, reſtera toujours rouge; & ainſi des autres.

C'eſt une choſe aſſez peu honorable pour les phyſiciens François du ſiecle dernier, d'avoir conteſté, & même déclaré fauſſe, cette aſſertion du philoſophe Anglois, & cela d'après une expérience auſſi mal faite & auſſi incomplette que celle de M. Mariotte. On ne peut même s'empêcher d'accuſer ce phyſicien, d'ailleurs digne des plus grands éloges, de beaucoup de précipitation; car ſon expérience n'étoit point celle que Newton avoit détaillée dans les *Tranſactions Philoſophiques*, année 1666; & il eſt aiſé de voir que, faite à la maniere de M. Mariotte, elle ne pouvoit réuſſir.

Quoi qu'il en ſoit, il eſt conſtant aujourd'hui, nonobſtant les réclamations du pere Caſtel & du ſieur Gautier (*a*), qu'il y a dans la nature ſept couleurs primitives, homogenes, inégalement réfrangibles, inaltérables, & qui ſont la cauſe des couleurs des corps; que le blanc les contient toutes, & que toutes enſemble compoſent le blanc; que ce qui fait qu'un corps eſt d'une couleur plutôt que d'une autre, c'eſt la configuration des parties inſenſibles de ce corps, qui fait qu'il réfléchit en

(*a*) Le ſieur Gautier, ſoi-diſant inventeur de la maniere de graver en couleurs, a combattu en 1750, avec acharnement, la théorie de Newton, ſoit ſur les couleurs, ſoit ſur le ſyſtême de l'univers. Ses raiſonnements & ſes expériences ſont auſſi concluantes, que le ſeroient contre la peſanteur de l'air des expériences faites avec un récipient fêlé. Auſſi n'a-t-il jamais eu de partiſans qu'un ou deux de ſes compatriotes, dont l'un étoit un poëte qui avoit trouvé que les objets ne ſe peignoient pas renverſés dans la rétine.

plus grande quantité des rayons de la premiere que de toute autre ; enfin, que le noir eſt la privation de toute réflexion : cela s'entend du noir parfait ; car le noir matériel & ordinaire n'eſt qu'un bleu extraordinairement foncé.

Il y a des gens, tels que le pere Caſtel, qui ſe ſont retranchés à n'admettre que trois couleurs primitives, le rouge, le jaune & le bleu. Ils ſe fondent ſur ce que le rouge & le jaune forment l'orangé, le jaune & le bleu font le vert, & que du bleu & du rouge naît le violet ou l'indigo, ſuivant que l'un ou l'autre des premiers domine. Cette nouvelle prétention eſt une nouvelle erreur. Il eſt bien vrai qu'avec deux rayons, l'un jaune, l'autre bleu, on fait un vert, & cela eſt encore vrai des couleurs matérielles ; mais le vert de l'image colorée du priſme eſt tout différent; il eſt primitif, & ſubit ſans ſe décompoſer les mêmes épreuves que le rouge, le jaune ou le bleu. Il en eſt de même de l'orangé, de l'indigo & du violet.

## PROBLÊME LIV.

*De l'Arc-en-ciel : comment il ſe forme : maniere de l'imiter.*

PARMI les phénomenes de la nature, l'arc-en-ciel eſt un de ceux qui de tout temps ont le plus excité l'admiration des hommes ; mais il n'en eſt peut-être aujourd'hui aucun dont la phyſique rende une raiſon plus ſatisfaiſante & mieux démontrée.

L'arc-en-ciel eſt formé par la décompoſition des rayons ſolaires en ſes principales couleurs, dans les gouttelettes de pluie, au moyen des deux réfractions qu'ils y ſouffrent en entrant & en ſortant. Dans l'arc-en-ciel intérieur, qui ſouvent

paroît ſeul, le rayon ſolaire entre par la partie ſupérieure de la goutte, ſe réfléchit contre le fond, & ſort par la partie inférieure. On voit ſa décom-
Pl. 14, fig. 48. poſition dans la *fig. 48*. Dans l'arc-en-ciel extérieur, les rayons entrent par le bas de la goutte, éprouvent deux réflexions, & ſortent par la partie
Fig. 49. ſupérieure. On en voit dans la *fig. 49* la marche & décompoſition, qui donne les couleurs dans un ſens oppoſé à la premiere. C'eſt auſſi la raiſon pour laquelle l'arc-en-ciel extérieur a ſes couleurs renverſées à l'égard du premier.

Fig. 50. La *fig. 50* montre enfin comment le même œil apperçoit cette double ſérie de couleurs.

Mais l'explication ſeroit encore incomplette, ſi l'on ne faiſoit pas voir qu'il y a une certaine inclinaiſon déterminée ſous laquelle les rayons rouges ſortent le plus ſerrés qu'il eſt poſſible, & parallélement entr'eux, tandis que tous les autres ſont divergents; qu'il en eſt une autre ſous laquelle ce ſont les rayons verts qui ſortent de cette maniere; &c. C'eſt par-là ſeulement qu'ils peuvent affecter un œil éloigné.

Cette explication de l'arc-en-ciel ſe confirme par une expérience fort ſimple. Lorſque le ſoleil eſt fort voiſin de l'horizon, ſuſpendez dans une chambre un globe de verre rempli d'eau, enſorte qu'il ſoit éclairé par le ſoleil, & placez-vous le dos tourné à cet aſtre, enſorte que le globe ſoit élevé à l'égard de votre œil d'environ 42° ſur l'horizon. En vous avançant ou retirant un peu, vous ne manquerez pas de rencontrer les rayons colorés, & il vous ſera facile de voir qu'ils ſortent du bas du globe; que le rayon rouge en ſort ſous un angle plus grand avec l'horizon, & le violet, qui eſt l'extrême, ſous le moindre; en-

ſorte que le rouge doit être en dehors de l'axe, & le violet en dedans.

Elevez enſuite votre boule à l'égard de votre œil d'environ 54°, ou continuez de vous en approcher, enſorte qu'elle ſoit élevée de cet angle : vous rencontrerez les rayons colorés ſortants du haut de la boule, d'abord le violet, puis le bleu, le vert, le rouge, dans un ordre tout contraire au précédent. Si vous couvriez, dans le premier cas, la partie ſupérieure de la boule, & dans le ſecond la partie inférieure, vous n'auriez point de couleurs, ce qui prouve la maniere dont ils y entrent & dont ils en ſortent.

On peut ſe procurer facilement le ſpectacle d'un arc-en-ciel artificiel : on le voit dans la vapeur d'un jet d'eau que le vent diſperſe en gouttelettes inſenſibles. Il faut pour cela ſe mettre dans la ligne entre le jet d'eau & le ſoleil, en tournant le dos à cet aſtre. Si le ſoleil n'eſt que médiocrement élevé ſur l'horizon, en s'avançant ou s'éloignant du jet d'eau, on trouvera bientôt un point d'où l'on verra l'arc-en-ciel dans les gouttes qui retombent en pluie fine & légere.

Au défaut d'un jet d'eau, on peut en faire un à peu de frais. Il faut pour cela remplir ſa bouche d'eau, &, en tournant le dos au ſoleil médiocrement élevé, la jeter en l'air le plus haut qu'il eſt poſſible, & dans une direction un peu oblique à l'horizon. Après quelques eſſais, vous ne tarderez pas d'y voir l'arc-en-ciel. Une ſeringue qui éparpillera l'eau en gouttelettes très-menues, facilitera beaucoup l'imitation du phénomene.

Voulez-vous faire cette expérience d'une maniere plus facile encore ? poſez ſur une table, & debout, une bouteille cylindrique de verre bien

blanc, après l'avoir remplie d'eau; mettez à 10 ou 12 pieds un flambeau allumé à la même hauteur; puis promenez-vous tranſverſalement entre la lumiere & cette bouteille, en tenant votre œil à leur hauteur. Quand vous ſerez parvenu à un certain point, vous verrez les faiſceaux de rayons colorés, ſortants d'un des flancs de la bouteille, dans cet ordre, violet, bleu, jaune, rouge; & ſi vous continuez de marcher tranſverſalement, vous en rencontrerez une ſeconde ſuite dans un ordre oppoſé, ſçavoir, rouge, jaune, bleu, violet, ſortant de l'autre côté de la bouteille. C'eſt-là préciſément ce qui ſe paſſe dans les gouttes de pluie; & pour imiter parfaitement le phénomene, il ne ſeroit pas impoſſible de fixer ſept bouteilles ſemblables, de telle maniere que, dans chacune, l'œil placé au point convenable y vît une des ſept couleurs, & à quelque diſtance de-là ſept autres, qui préſenteroient au même œil les mêmes couleurs dans l'ordre renverſé du ſecond arc-en-ciel.

Si les rayons ſolaires n'étoient pas différemment réfrangibles, on auroit bien également deux arcs-en-ciel; mais ils ſeroient ſans couleur, & ce ſeroit ſeulement deux bandes circulaires d'une lumiere blanche ou jaunâtre.

L'arc-en-ciel forme toujours une portion de cercle à l'entour de la ligne tirée du ſoleil par l'œil du ſpectateur; c'eſt pourquoi, quand cet aſtre eſt élevé ſur l'horizon, l'arc-en-ciel eſt moindre que le demi-cercle. Il eſt égal au demi-cercle lorſque le ſoleil eſt à l'horizon.

On a pourtant vu une fois un arc-en-ciel plus grand que le demi-cercle, & qui coupoit l'arc-en-ciel ordinaire; mais c'eſt qu'il étoit produit par l'image du ſoleil réfléchie ſur l'eau tranquille d'une riviere.

riviere. Cette image du ſoleil faiſoit le même effet que ſi cet aſtre eût été ſous l'horizon.

M. Halley a calculé, d'après le rapport des diverſes réfrangibilités des rayons du ſoleil, que le demi-diametre de l'arc-en-ciel intérieur, pris au milieu de ſa largeur, doit être de 41° 10′, & que ſa largeur, qui ne ſeroit que 1° 45′, ſi le ſoleil n'étoit qu'un point, doit être de 2° 15′, à cauſe du diametre apparent de cet aſtre. Ce diametre apparent eſt la cauſe pour laquelle les couleurs ne ſont pas tranchées avec cette diſtinction qu'elles auroient ſi le ſoleil n'étoit qu'un point lumineux. Le rayon de l'arc-en-ciel extérieur, pris de la même maniere, c'eſt-à-dire au milieu de ſa largeur, eſt de 52° 30′.

Ce géometre & aſtronome Anglois ne s'eſt pas borné à calculer les dimenſions de l'arc-en-ciel que nous voyons; mais il a auſſi calculé celles des arcs-en-ciel qui naîtroient, ſi la lumiere du ſoleil ne ſortoit de la goutte d'eau qu'après 3, 4, 5 réflexions, &c. comme pour l'arc-en-ciel principal & intérieur il en ſort après une, & pour le ſecond & l'extérieur après deux. On trouve que le demi-diametre du troiſieme arc-en-ciel, compté du lieu même du ſoleil, ſeroit de 41°; que celui du quatrieme ſeroit de 43° 50′; &c. Mais ici la géométrie va beaucoup plus loin que la nature; car, indépendamment de l'affoibliſſement des rayons, qui ne permettroit pas de voir ces arcs-en-ciel, comme ils ſe trouvent du côté du ſoleil même, l'éclat de cet aſtre les offuſqueroit. Si les gouttes qui forment l'arc-en-ciel, au lieu d'être d'eau, étoient de verre, le demi-diametre moyen de l'arc-en-ciel intérieur ſeroit de 22° 52′, & celui de l'extérieur, de 9° 30′ du côté oppoſé au ſoleil.

## PROBLÊME LV.

*De l'analogie entre les couleurs & les tons de la Muſique. Du Claveſſin oculaire du pere Caſtel.*

AUSSI-TOT qu'on a eu obſervé qu'il y avoit dans la nature ſept couleurs primitives, il a été naturel de concevoir qu'il pouvoit y avoir une analogie entre les couleurs & les tons de la muſique; car ces derniers forment auſſi, dans l'étendue de l'octave, une ſuite de ſept tons. Cette obſervation n'échappa pas à Newton, qui remarqua de plus que dans le ſpectre coloré, les eſpaces occupés par le *violet*, l'*indigo*, le *bleu*, &c. répondoient aux diviſions du monocorde qui donnent les ſons *re*, *mi*, *fa*, *ſol*, *la*, *ſi*, *ut*, *re*.

Newton s'arrêta là; mais le pere Caſtel, dont l'imagination eſt connue de tout le monde, enchérit beaucoup ſur cette idée, & bâtit ſur cette analogie des ſons, un ſyſtême d'après lequel il promit pour les yeux, malheureuſement ſans ſuccès, un nouveau plaiſir ſemblable à celui que les oreilles éprouvent à un concert.

Le pere Caſtel change d'abord, par des raiſons d'analogie, l'ordre des couleurs dans celui-ci, ſçavoir, *bleu*, *vert*, *jaune*, *orangé*, *rouge*, *violet*, *indigo*, & enfin *bleu*, qui forme comme l'octave du premier. Ce ſont-là, ſuivant lui, les couleurs qui répondent à l'octave diatonique de notre muſique moderne, *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *ſol*, *la*, *ſi*, *ut*. Les dieſes & les bémols ne l'embarraſſoient pas; & l'octave chromatique, diviſée en ſes douze couleurs, étoit *bleu*, *céladon*, *vert*, *olive*, *jaune*, *abricot*, *orangé*, *rouge*, *cramoiſi*, *violet*, *agate*,

*indigo*, *bleu*, qui répondoient à *ut*, *ut* ♯, *re*, *re* ♯, *mi*, *fa*, *fa* ♯, *ſol*, *ſol* ♯, *la*, *la* ♯, *ſi*, *ut*.

Qu'on diſpoſe maintenant, dit le pere Caſtel, un claveſſin de maniere qu'en enfonçant la touche *ut*, au lieu d'un ſon vous découvriez une bande bleue; en enfonçant la touche *re*, qu'elle faſſe découvrir le vert, &c: vous aurez votre claveſſin conſtruit; bien entendu que pour la premiere octave d'*ut*, par exemple, vous ayiez un bleu différent & à l'octave du premier. Mais qu'eſt-ce qu'un bleu à l'octave d'un autre? C'eſt ſur quoi je ne trouve pas que le pere Caſtel ſe ſoit jamais expliqué bien clairement. Il dit ſeulement que, tout comme on compte douze octaves appréciables à l'oreille, depuis le ſon le plus bas juſqu'au plus aigu, de même on doit compter douze octaves de couleurs, depuis le bleu le plus foncé juſqu'au bleu le plus clair; ce qui donne lieu de croire que le bleu le plus foncé étant celui qui devoit répondre à la plus baſſe touche, le bleu répondant à l'octave ſeroit celui formé de onze parties de bleu pur ſur une de blanc, & le plus clair, celui qui eût été formé d'une partie de bleu ſur onze parties de blanc; & ainſi des autres couleurs.

Quoi qu'il en ſoit, le pere Caſtel ne déſeſpéroit pas de produire par ces moyens une muſique oculaire, auſſi intéreſſante pour les yeux, que la muſique ordinaire l'eſt pour des oreilles bien organiſées. Il penſoit qu'on pourroit traduire une piece de muſique en couleurs, pour l'uſage des ſourds. « Concevez-vous bien, dit-il quelque part, » ce que ce ſera qu'une chambre tapiſſée de » rigaudons & de menuets, de ſarabandes & de » paſſacailles, de ſonates & de cantates, &, ſi » vous le voulez bien, d'une repréſentation com-

» plette de tout un opéra ? Ayez vos couleurs bien » diapaſonnées, & rangez-les ſur une toile, dans » la ſuite, la combinaiſon & le mélange précis » des tons, des parties & des accords d'une piece » de muſique que vous voulez peindre, en obſer- » vant toutes les valeurs, ſyncopes, ſoupirs, cro- » ches, blanches, &c. & rangeant toutes les » parties par ordre de contre-point. Vous voyez » bien que cela n'eſt pas impoſſible ni même diffi- » cile pour un peintre de quatre jours, & que, » pour le moins, une pareille tapiſſerie vaudra » bien celles où les couleurs ne ſont jetées qu'au » haſard, comme ſur le marbre.

« Ce claveſſin, ajoute-t-il, eſt une grande » école pour les peintres, qui pourront y trouver » tous les ſecrets des combinaiſons des couleurs, » & de ce qu'ils appellent le *clair-obſcur*. Mais nos » tapiſſeries harmoniques auront auſſi leur avan- » tage ; car on pourra y contempler à loiſir ce » qu'on ne peut juſqu'ici qu'entendre rapidement, » en paſſant & ſans réflexion. Et quel plaiſir de » voir les couleurs dans une diſpoſition vraiment » harmonique, & dans cette variété infinie de » diſpoſitions que l'harmonie nous fournit ! Le » ſeul deſſin d'un tableau fait plaiſir. Il y a cer- » tainement un deſſin dans une piece de muſique, » mais il n'eſt pas aſſez ſenſible quand on la joue » rapidement. L'œil la contemplera ici à loiſir : » il verra le concert, le contraſte de toutes les » parties, l'effet de l'une contre l'autre, les fu- » gues, les imitations, les expreſſions, l'enchaî- » nement des cadences, le progrès de la modula- » tion. Et croyez-vous que ces endroits pathéti- » ques, ces grands traits d'harmonie, ces change- » ments ineſpérés de tons, qui cauſent à tous

» moments des ſuſpenſions, des langueurs, des » émotions, & mille ſortes de péripéties dans » l'ame qui s'y abandonne, perdent rien de leur » énergie en paſſant des oreilles aux yeux, &c ? » Il ſera curieux de voir les ſourds ſe récrier » aux mêmes endroits où les aveugles ſe récrie- » ront, &c. Le vert, qui répond au *re*, fera ſans » doute ſentir que ce ton de *re* eſt champêtre, » riant, paſtoral; le rouge, qui répond au *ſol*, » leur donnera l'idée d'un ton guerrier, ſanglant, » colere, terrible; le bleu, répondant à l'*ut*, fera » connoître ſon ton noble, majeſtueux, céleſte, » divin, &c. Il eſt ſingulier, pour le dire en paſ- » ſant, que les couleurs ſe trouvent avoir les pro- » pres caracteres que les anciens attribuoient aux » tons précis qui leur répondent; mais il y a beau- » coup à dire, &c.

» On peut faire un jeu de toutes ſortes de figu- » res humaines, angéliques, animales, volatiles, » reptiles, aquatiques, quadrupedes, même géo- » métriques. On pourra, par un ſimple jeu, dé- » montrer toute la ſuite des Eléments d'Euclide. » Ici l'imagination du pere Caſtel le mene tout droit aux Petites-Maiſons.

Nous n'avons pu réſiſter à l'envie de citer ces morceaux ſinguliers du pere Caſtel. Malheureuſe- ment toutes ces belles promeſſes ſe ſont évanouies. Il avoit, dit-il, fait le modele de ſon claveſſin dès la fin de 1734. Preſque tout le reſte de ſa vie, juſqu'à ſa mort en 1757, s'eſt écoulé dans le tra- vail de cette conſtruction qui n'a pas réuſſi. Ce claveſſin, fabriqué à grands frais, n'a rempli, comme le dit l'auteur de ſa vie, ni le devis de l'au- teur, ni l'attente du public. Et en effet, s'il y a quelque analogie entre les couleurs & les ſons,

il y a tant d'autres points dans lesquels ils diffèrent, qu'il n'y a pas lieu de s'étonner que ce projet ait échoué.

## PROBLÊME LVI.

*Composer un tableau représentant toutes les couleurs, & déterminer leur nombre.*

QUOIQUE Newton ait démontré l'homogénéité des couleurs dans lesquelles se décompose le rayon solaire, & que l'orangé, le vert, le pourpre, données par cette décomposition, ne soient pas moins inaltérables, malgré les réfractions ultérieures, que le rouge, le jaune, le bleu, il est cependant reconnu qu'on peut, avec ces trois dernieres couleurs, imiter les premieres & toutes les autres de la nature; car le rouge, combiné avec le jaune en différentes proportions, donne toutes les nuances d'orangé; le jaune & le bleu donnent les verts purs; le rouge & le bleu produisent les violets pourpres & indigos; enfin, des différentes combinaisons de ces couleurs composées, naissent toutes les autres. Cela a donné lieu à l'invention ingénieuse du triangle chromatique qui sert à les représenter.

Pl. 15, fig. 51. Soit formé, comme l'on voit dans la *planche 15*, un triangle équilatéral, dont vous diviserez deux des côtés à l'entour de l'angle du sommet en 13 parties égales: & tirant par les points de division de chacun de ces côtés, des lignes paralleles à l'autre, vous formerez 91 rhombes égaux.

Aux trois rhombes angulaires placez les trois couleurs primitives, le rouge, le jaune & le bleu, dans un degré égal de force, &, pour ainsi dire, de concentration: vous aurez conséquemment,

entre le jaune & le bleu, onze cases que vous remplirez ainsi ; dans la plus voisine du jaune, vous mettrez 11 parties de jaune & 1 de rouge ; dans la suivante, 10 parties de jaune & 2 de rouge, enforte que dans la plus voisine du rouge il n'y aura que 1 partie de jaune & 11 de rouge : nous aurons par-là tous les orangés, depuis le plus voisin du rouge jusqu'au plus voisin du jaune. En remplissant de la même maniere les cases intermédiaires entre le rouge & le bleu, entre le bleu & le jaune, il en résultera toutes les nuances pourpres & toutes celles des verts, dans une dégradadation semblable.

Pour remplir les autres cases, prenons, par exemple, celles du troisieme rang au dessous du rouge, où il y a trois cases. Les deux extrêmes étant remplies d'un côté par 10 parties de rouge combinées avec 2 de jaune, & de l'autre par 10 de rouge combinées avec 2 de bleu, la case moyenne sera composée de 10 parties de rouge, 1 de bleu & 1 de jaune.

Dans la bande au dessous on aura, par la même raison, dans la premiere case du côté du jaune, 9 parties de rouge & 3 de jaune ; dans la suivante, 9 parties de rouge, 2 de jaune, 1 de bleu ; dans la troisieme, 9 parties de rouge, 1 de jaune, 2 de bleu ; & enfin dans la quatrieme, 9 parties de rouge & 3 de bleu ; & ainsi des autres bandes inférieures, dont nous nous contenterons de détailler l'avant-derniere au dessus de la ligne des verts, dont les cases seront successivement remplies ainsi qu'il suit.

La 1ere à gauche, 11 parties de jaune, 1 de rouge.

La 2e, 10 p. de jaune, 1 de rouge, 1 de bleu.
La 3e, 9 p. de jaune, 1 de rouge, 2 de bleu.
La 4e, 8 p. de jaune, 1 de rouge, 3 de bleu.
La 5e, 7 p. de jaune, 1 de rouge, 4 de bleu.
La 6e, 6 p. de jaune, 1 de rouge, 5 de bleu.
La 7e, 5 p. de jaune, 1 de rouge, 6 de bleu.
La 8e, 4 p. de jaune, 1 de rouge, 7 de bleu.
La 9e, 3 p. de jaune, 1 de rouge, 8 de bleu.
La 10e. 2 p. de jaune, 1 de rouge, 9 de bleu.
La 11e, 1 p. de jaune, 1 de rouge, 10 de bleu.
La 12e, 0 p. de jaune, 1 de rouge, 11 de bleu.

Cette bande contient, comme l'on voit, tous les verts de la bande inférieure, dans leſquels on a jeté une partie de rouge. De même, dans la bande parallele aux pourpres, on trouve tous les pourpres, dans leſquels on a jeté 1 partie de jaune; & dans la bande parallele & contiguë aux orangés, on trouve tous ceux où l'on a jeté une partie de bleu.

Dans la caſe centrale du triangle, on trouveroit 4 parties de rouge, 4 de bleu & 4 de jaune.

On pourroit faire facilement ces mélanges avec des poudres colorées, & broyées très-fin; & en prenant les doſes convenables de ces poudres, & en les mélangeant bien, nous ne doutons point qu'on n'eût toutes les nuances des couleurs.

Mais ſi l'on vouloit avoir toutes les couleurs de la nature du plus clair au plus brun, ſçavoir du blanc au noir, nous trouverions pour chaque caſe 12 degrés de gradation juſqu'au blanc, & 12 autres juſqu'au noir. Ainſi, multipliant 91 par 24, nous aurions 2184 couleurs perceptibles; à quoi ajoutant 24 gris formés par la combinaiſon du noir & du blanc, & enfin le blanc & le noir purs,

nous aurions 2210 couleurs compoſées, que nous croyons diſtinguibles par les ſens. Mais peut-être ne doit-on pas regarder comme des couleurs réelles, celles qui ſont formées de couleurs pures avec le noir; car le noir ne fait que ſalir & non pas colorer. Il faudroit, dans ce cas, réduire les véritables couleurs, & leurs nuances du plus foncé au plus clair, à 1092; ce qui, avec le blanc, le noir & 12 gris, formeroit 1106 couleurs.

## PROBLÊME LVII.

*D'où vient la couleur bleue du ciel?*

CE phénomene eſt fort remarquable, quoique, nos yeux y étant accoutumés dès notre plus tendre enfance, nous n'y faſſions plus d'attention; & il ne ſeroit pas moins difficile à expliquer, ſi la théorie de Newton ſur la lumiere, en nous apprenant qu'elle ſe décompoſe en ſept couleurs qui ont des réfrangibilités & réflexibilités différentes, ne nous avoit pas donné les moyens d'en reconnoître la cauſe.

Nous obſerverons donc, pour expliquer ce phénomene, que, d'après la théorie de Newton, ſi bien prouvée par l'expérience, parmi les ſept couleurs que donne la lumiere ſolaire décompoſée par le priſme, le bleu, l'indigo & le violet ſont celles qui ſe réfléchiſſent avec le plus de facilité à la rencontre d'un milieu de différente denſité. Or, quelle que ſoit la tranſparence de l'air, celui qui environne notre terre, & qui conſtitue notre atmoſphere, eſt toujours mélangé de vapeurs plus ou moins bien combinées avec lui; d'où il réſulte que la lumiere du ſoleil ou des aſtres, renvoyée en cent façons différentes dans l'atmo-

ſphere, doit y éprouver des inflexions & réflexions ſans nombre. Mais à chacune de ces reflexions contre les particules inſenſibles de vapeurs que ces rayons ont à traverſer, ce ſont les rayons bleus, indigos & violets qui nous ſont principalement renvoyés. Il eſt donc néceſſaire que le milieu qui les renvoie paroiſſe prendre une teinte bleue.

Cela devroit même arriver, en ſuppoſant une homogénéité parfaite dans l'atmoſphere; car, quelque homogene que ſoit un milieu tranſparent, il réfléchit néceſſairement une partie des rayons de lumiere qui le traverſe. Or, de tous ces rayons, ce ſont les bleus qui ſe réfléchiſſent avec plus de facilité: ainſi l'air, même ſuppoſé homogene, prendroit une couleur bleue, ou peut-être violette.

C'eſt par la même raiſon que l'eau de la mer paroît bleue lorſqu'elle eſt bien pure, comme loin des côtes. Lorſqu'elle eſt éclairée par la lumiere du ſoleil, une partie des rayons pénetre dans ſon ſein, une autre eſt réfléchie: mais celle-ci eſt principalement compoſée des rayons bleus; elle doit par conſéquent paroître bleue.

Cette explication eſt confirmée par une curieuſe obſervation de M. Halley. Ce célebre phyſicien étant deſcendu aſſez avant dans la mer, pendant qu'elle étoit éclairée de la lumiere du ſoleil, il fut extrêmement ſurpris de voir le dos de ſa main, qui recevoit des rayons directs du ſoleil, teint d'une belle couleur de roſe, & le deſſous, qui l'étoit par des rayons réfléchis, teint en bleu. C'eſt effectivement ce qui devoit arriver, en ſuppoſant que les rayons réfléchis par la ſurface de la mer, ainſi que par les parties inſenſibles du milieu, fuſſent des rayons bleus. A meſure que la lumiere pénétroit plus profondément, elle devoit ſe dépouiller

de plus en plus des rayons bleus, & le reſte conſéquemment devoit tirer ſur le rouge.

## PROBLÊME LVIII.

*Pourquoi, dans certains temps, les ombres des corps ſont bleues ou azurées, au lieu d'être noires?*

ON obſerve aſſez ſouvent, au lever du ſoleil & dans des jours extrêmement ſereins, que les ombres des corps, projetées ſur un fond blanc aſſez voiſin, ſont bleues ou azurées. Ce phénomene m'a paru aſſez curieux pour mériter de trouver place ici, de même que ſon explication.

Si l'ombre que projette un corps expoſé au ſoleil étoit abſolue, elle ſeroit profondément noire, puiſqu'elle ne ſeroit qu'une privation complette de la lumiere; mais cela n'eſt pas. En effet, il faudroit, dans le cas que nous analyſons, que le fond du ciel fût abſolument noir. Or il eſt bleu ou azuré; & il n'eſt tel que parcequ'il nous renvoie principalement des rayons bleus, comme nous l'avons fait voir plus haut.

Ainſi l'ombre que projettent les corps expoſés au ſoleil n'eſt pas une ombre pure; mais cette ombre eſt elle-même éclairée par toute la partie du ciel que n'occupe pas le corps lumineux. Cette partie du ciel étant donc bleue, l'ombre eſt rompue par des rayons bleus ou azurés, & doit paroître de cette couleur. C'eſt préciſément ainſi que, dans la peinture, les reflets ſont teints de la couleur des corps environnants. L'ombre que nous analyſons, n'eſt autre choſe qu'une ombre mêlée du reflet d'un corps bleu, & conſéquemment elle doit participer de cette couleur.

Il eſt ſuffiſamment connu que c'eſt M. de Buffon

qui a le premier obſervé & expliqué ce phénomene.

Mais on demandera pourquoi toutes les ombres ne ſont pas bleues. Nous répondrons à cela qu'il faut, pour produire cet effet, le concours de pluſieurs circonſtances, ſçavoir: 1° un ciel très-pur & d'un bleu très-foncé; car ſi le ciel eſt parſemé de nuages, les rayons qui en ſeront réfléchis, en tombant ſur l'ombre bleuâtre, en détruiront l'effet; ſi le bleu eſt foible, comme il l'eſt ſouvent, la quantité des rayons bleus ne ſera pas ſuffiſante pour éclairer l'ombre. 2° Il faut que la lumiere du ſoleil ſoit plus vive qu'elle n'eſt d'ordinaire à l'horizon, afin que les ombres ſoient fortes & épaiſſes. Or ces circonſtances ſont aſſez rarement réunies. Il faut d'ailleurs que le ſoleil ſoit peu élevé ſur l'horizon; car lorſqu'il l'eſt déja médiocrement, il regne dans l'atmoſphere trop d'éclat pour que les rayons bleus ſoient ſenſibles. Ainſi cette lumiere ne fait que rendre l'ombre moins épaiſſe, mais ne la teint point en bleu.

## PROBLÊME LIX.

### *Expérience ſur les Couleurs.*

PLACEZ devant vos yeux deux verres de différentes couleurs, l'un bleu par exemple, l'autre rouge; &, vous étant placé à une diſtance convenable d'une bougie allumée, fermez l'un de vos yeux, & regardez la lumiere avec l'autre, par exemple avec celui qui eſt garni d'un verre bleu; vous la verrez bleue. Celui-ci étant fermé & l'autre ouvert, vous la verrez rouge. Ouvrez enfin les deux yeux, vous la verrez d'un violet clair.

Nous croyons qu'il n'y a perſonne qui n'eût

prévu le ſuccès de cette expérience ; & nous n'en parlons ici, que parcequ'un oculiſte de Lyon, (M. Janin), a cru pouvoir en inférer une conſéquence particuliere, ſçavoir, que la rétine pourroit bien faire l'office d'un miroir concave réfléchiſſant les rayons de lumiere, enſorte que chaque œil formât à une certaine diſtance une image aérienne de l'objet. Ainſi, les deux yeux en formant chacun une dans le même lieu, il en réſulteroit une double image, l'une bleue, l'autre rouge, & de leur réunion une image violette; comme lorſqu'on mêle enſemble des rayons bleus & des rouges. Mais cette explication ne ſçauroit à coup sûr ſoutenir un examen fondé ſur les principes ſains & avérés de l'optique. Comment concevoir que la rétine puiſſe former une pareille image ? N'eſt-il pas plus vraiſemblable, & plus fondé ſur les phénomenes connus de la viſion, que des deux impreſſions reçues par les deux yeux, il réſulte dans le *ſenſorium commune*, ou dans la réunion des nerfs optiques dans le cerveau, une impreſſion compoſée & unique ? Il doit donc arriver dans cette expérience, la même choſe que ſi l'on regardoit la lumiere avec un œil, & à travers deux verres, l'un rouge, l'autre bleu. Dans ce dernier cas, on la verroit violette. On la doit conſéquemment voir de même dans le premier.

## PROBLÊME LX.

*Conſtruction d'un photophore ou porte-lumiere, très-commode & très-avantageux pour éclairer une table où l'on lit ou écrit.*

FAITES faire en fer-blanc un cône dont la baſe ſoit de 4 pouces $\frac{1}{2}$ de diametre, & le côté de

7 pouces $\frac{2}{3}$ ; ce qu'on exécutera facilement, en coupant dans un cercle de 7 pouces $\frac{2}{3}$ de rayon, un ſecteur de 109° $\frac{1}{2}$ d'ouverture, & le repliant en forme de cône ; enſuite, par un point de l'axe éloigné du ſommet de 2 pouces $\frac{1}{2}$, faites retrancher la partie de ce cône la plus voiſine du ſommet, par un plan incliné à un côté du cône, de 45° : il en réſultera une ſection elliptique & allongée, que vous placerez au devant de la lumiere le plus près qu'il ſe pourra, le plan de cette ſection étant verticale, & le plus grand diametre dans le ſens perpendiculaire. Dans cette diſpoſition, ſi la flamme du flambeau ou de la lampe eſt élevée de 12 à 13 pouces au deſſus du plan de la table, on verra avec étonnement la vivacité & l'égalité de la lumiere qu'elle projettera ſur une étendue de 4 à 5 pieds de longueur.

M. Lambert, inventeur de ce nouveau porte-lumiere, remarque qu'on pourroit s'en ſervir avec utilité pour s'éclairer dans le lit lorſqu'on veut y lire ; car, en plaçant la lampe ou le flambeau garni de ce porte-lumiere ſur un guéridon aſſez haut, à 5, 6 ou 8 pieds du lit, on y verra fort clair ſans aucun danger. Il dit avoir encore eſſayé d'éclairer la rue, en plaçant une lampe avec ſon porte-lumiere à une fenêtre élevée de 15 pieds au deſſus du pavé, & que l'effet en fut tel, qu'à une diſtance de 60 pieds on voyoit un brin de paille, qu'on ſe reconnoiſſoit mieux qu'au clair de la lune, & qu'on pouvoit lire à une diſtance de 35 à 40 pieds. Ainſi il faudroit peu de ces porte-lumieres placés des deux côtés d'une rue, & dirigés en forme de diagonale, pour l'éclairer fort bien, & peut-être mieux que par tous les moyens employés juſqu'ici. *V.* les Mém. de Berlin, ann. 1770.

## PROBLÊME LXI.

*La place d'un objet, par exemple d'un papier ſur une table, étant déterminée, & celle du pied du flambeau qui doit l'éclairer, déterminer la hauteur à laquelle il faut placer cette lumiere pour que cet objet ſoit le plus éclairé qu'il eſt poſſible.*

POUR ne pas faire entrer dans ce problême pluſieurs conſidérations qui en rendroient la ſolution fort difficile, nous ſuppoſerons que l'objet à éclairer eſt fort petit, ou qu'il faille ſeulement faire enſorte que le milieu de cet objet ſoit le plus éclairé qu'il ſe puiſſe. On ſuppoſera auſſi que la lumiere eſt toute concentrée en un ſeul point, qui réuniroit l'éclat de toutes ſes différentes parties.

Or, on ſçait que la lumiere répandue par un point lumineux ſur une ſurface qu'il éclaire, diminue, l'angle étant le même, en raiſon inverſe du quarré de la diſtance, & que l'angle d'inclinaiſon variant, elle eſt comme le ſinus de cet angle; d'où il ſuit qu'elle croît ou décroît dans le rapport compoſé de l'inverſe du quarré de la diſtance & du direct du ſinus d'inclinaiſon. Pour réſoudre le problême, il faut donc trouver la hauteur du point lumineux dans la perpendiculaire donnée, qui rendra ce rapport le plus grand poſſible.

Or on trouve que cela ſera, quand cette hauteur perpendiculaire, & la diſtance du point à éclairer au pied de la lumiere, ſeront entr'elles comme le côté du quarré eſt à la diagonale. Ainſi, ſur cette diſtance donnée & invariable, comme hypothénuſe, décrivez un triangle iſoſcele rectangle; le côté de ce triangle ſera la hauteur où la lumiere

étant placée, le point donné, ou le milieu du papier dont il s'agit, ſera le plus éclairé.

On peut propoſer un autre problême analogue, ſçavoir celui-ci : *Deux lumieres d'inégale hauteur, & placées aux extrémités d'une ligne horizontale, étant données, trouver ſur cette ligne le point tellement ſitué, que l'objet qui y ſera placé ſoit le plus éclairé qu'il eſt poſſible.* Mais nous n'en donnons pas la ſolution, pour laiſſer à notre lecteur le plaiſir de la trouver.

## PROBLÊME LXII.

*Quel eſt le rapport de la lumiere de la lune à celle du ſoleil ?*

C'EST un problême fort curieux que celui-ci ; mais ce n'eſt que depuis un aſſez petit nombre d'années qu'on s'eſt aviſé des principes & des moyens qui peuvent conduire à ſa ſolution. On les doit à M. Bouguer, qui les a expoſés dans ſon traité ſur la *gradation de la lumiere*, ouvrage qui contient mille choſes curieuſes, dont quelques-unes trouveront place ici.

Pour parvenir à cette meſure de l'intenſité de la lumiere, M. Bouguer part d'un fait donné par l'expérience, ſçavoir, que l'œil exercé juge aſſez exactement, lorſque deux ſurfaces ſemblables & égales ſont également illuminées. Il ne s'agit donc que d'éloigner inégalement deux lumieres inégales, ou leur procurer, par le moyen de verres concaves de foyers inégaux, des dilatations inégales, enſorte que les ſurfaces illuminées paroiſſent l'être également. Ce n'eſt plus qu'une affaire de calcul ; car ſi deux lumieres, dont l'une eſt quatre fois plus proche que l'autre, illuminent également deux

deux ſurfaces ſemblables, il eſt évident que les degrés d'illumination d'une même lumiere, diminuant en raiſon inverſe des quarrés des diſtances, on devra conclure que l'éclat de la premiere lumiere eſt ſeize fois auſſi grande que celui de la ſeconde. De même ſi une lumiere dilatée dans un eſpace circulaire d'un diametre double, éclaire autant qu'une autre lumiere directe, on devra en conclure que la premiere eſt quadruple de la ſeconde.

En employant ces moyens, M. Bouguer a trouvé que la lumiere du ſoleil, diminuée 11664 fois, étoit égale à celle d'un flambeau éclairant une ſurface à 16 pouces de diſtance; & que ce même flambeau éclairant une ſurface ſemblable à 50 pieds de diſtance, lui donnoit la même lumiere que celle de la lune diminuée 64 fois. Il en conclud, en compoſant ces deux raiſons, que la lumiere du ſoleil eſt à celle de la lune, dans ſes diſtances moyennes & à même hauteur, comme 256289 à 1, c'eſt-à-dire plus de 250000 fois plus grande. Quelques autres expériences le portent même à conclure que la lumiere de la lune n'eſt guere que la 300000$^{e}$ partie de celle du ſoleil.

On ne doit donc point être ſurpris du réſultat d'une expérience célebre, faite par deux académiciens de Paris (MM. Couplet & de la Hire). Ces deux phyſiciens employerent le miroir ardent de l'Obſervatoire, de 35 pouces de diametre, à réunir les rayons lunaires, & firent tomber le foyer ſur la boule d'un thermometre. Il n'en réſulta aucun mouvement dans la liqueur. Et en effet cela devoit arriver ainſi; car ſuppoſons un miroir comme le précédent, qui réunit les rayons tom-

bants ſur ſa ſurface en un eſpace 12 à 1400 fois moindre; la chaleur qui en réſultera ſera 12 ou 1400 fois plus grande: mais, à cauſe de la diſperſion des rayons, c'eſt beaucoup de ſuppoſer cette lumiere un millier de fois plus denſe que la lumiere directe, & la chaleur à proportion. Ainſi un pareil miroir, réuniſſant les rayons lunaires, produiroit à ſon foyer une chaleur 1000 fois plus grande que celle de la lune. Diviſant donc 300000 par 1000, on aura pour quotient le nombre 300, qui éxprime le rapport de la chaleur ſolaire directe, à celle de la lune ainſi condenſée. Or, une chaleur 300 fois moindre que celle du ſoleil direct, ne ſçauroit produire aucun effet ſur la liqueur du thermometre. Il s'en faut donc bien que ce fait ſoit inexplicable, comme le dit l'auteur de l'*Hiſtoire des progrès de l'eſprit humain dans la Phyſique*. Bien loin de-là, il eſt une ſuite néceſſaire du calcul de M. Bouguer, qu'apparemment l'auteur avoit perdu de vue.

Nous remarquerons encore ici que, par un calcul moyen, M. Bouguer a trouvé que l'éclat de la lune dans l'horizon, (en le ſuppoſant même net, ſans brume & ſans nuage), eſt 2000 fois environ moindre que l'éclat de ce même aſtre élevé de 66°. Il doit en être de même de la lumiere de la lune.

## PROBLÊME LXIII.

*De quelques illuſions optiques.*

### I.

**AYEZ un cachet gravé d'un chiffre, & regardez-le avec un verre convexe d'un pouce au plus de foyer; vous verrez le chiffre ou la gravure en-**

foncée : mais ſi vous continuez de la regarder ſans changer de ſituation, vous la verrez en relief ; puis, continuant de regarder, elle vous paroîtra de nouveau enfoncée, enſuite de relief. Quelquefois, après avoir diſcontinué de regarder, on l'apperçoit d'abord de relief au lieu de la voir enfoncée ; puis enfoncée, & ainſi de ſuite. Lorſque le côté de la lumiere change, cela fait auſſi ordinairement changer l'apparence.

Je vois que quelques perſonnes ſe ſont donné beaucoup de peine pour trouver la cauſe de ce jeu. Il me ſemble qu'elle n'eſt pas bien difficile à démêler. Lorſqu'on conſidere un objet avec une lentille d'un foyer court, & conſéquemment avec un ſeul œil, on ne juge que fort imparfaitement de la diſtance, & l'imagination ſeule a beaucoup de part à celle qu'on aſſigne à l'image qu'on apperçoit. D'un autre côté, la poſition de l'ombre ne peut guere ſervir à redreſſer le jugement qu'on en porte ; car l'ombre eſt à droite ſi la gravure eſt en creux & le jour venant de la droite, & elle eſt également à droite ſi la gravure eſt en relief & que la lumiere vienne de la gauche. Mais lorſqu'on conſidere attentivement une pierre gravée avec une loupe, on ne fait pas attention au jour d'où vient la lumiere. Ainſi tout eſt ici, pour ainſi dire, équivoque & indéterminé. Il n'eſt donc pas ſurprenant que l'organe porte un jugement indécis & continuellement variable ; mais je ſuis convaincu qu'un œil exercé ne tombe pas dans ces variations.

On ne voit pas la même choſe en faiſant l'expérience avec une piece de monnoie. La raiſon en eſt, probablement, que l'on eſt accoutumé à manier des pieces de monnoie, & à les voir gra-

vées en relief; ce qui ne permet pas à l'ame de ſe former à l'occaſion de l'image peinte dans l'œil, une autre idée que celle qu'elle a toujours eue à l'aſpect d'une piece de monnoie, ſçavoir, celle d'un relief.

II.

Si l'on préſente à un miroir concave, & à une diſtance convenable, c'eſt-à-dire entre le centre & le foyer, une bouteille de cryſtal à demi remplie d'eau, on la verra renverſée au devant du miroir. Rien juſqu'ici que de connu. Mais une apparence qui paroît ſinguliere à pluſieurs perſonnes, quoiqu'elle ne ſoit cependant pas générale, c'eſt que l'on croit voir l'eau dans la moitié de la bouteille qui avoiſine le cou qui eſt en bas. J'ai vu donner ce phénomene comme difficile à expliquer. Pour moi, il me ſemble qu'à l'égard de ceux qui croient voir ainſi, cela vient de ce que nous avons l'expérience que ſi l'on renverſe une bouteille demi-pleine d'eau, ce fluide s'écoule dans la partie inférieure ou du côté du cou.

Une autre cauſe ſe joint ici pour aider ce jugement. Lorſqu'une bouteille de cryſtal eſt demi-pleine d'eau bien limpide, les deux moitiés ſont ſenſiblement auſſi tranſparentes l'une que l'autre, & l'on ne s'apperçoit guere de la préſence de l'eau, que par la réflexion de la lumiere qui ſe fait ſur ſa ſurface; or, dans l'image renverſée, cette ſurface réfléchit la lumiere, mais par deſſous, & même avec plus de force. On eſt par-là conduit à juger que le fluide eſt en bas.

## PROBLÊME LXIV.

*Eſt-il vrai que la lumiere ſe réfléchit plus vivement de deſſus l'air que de deſſus l'eau ?*

CELA eſt très-vrai, pourvu qu'on l'entende dans le ſens convenable, ſçavoir celui-ci : Lorſque la lumiere tend à paſſer de l'air dans l'eau, ſous une certaine obliquité, par exemple de 30°, l'eau réfléchit moins de rayons que lorſque, ſous la même inclinaiſon, la lumiere tend à paſſer de l'eau dans l'air. Ce qui eſt fort ſingulier, c'eſt que ſi l'on ſupprimoit abſolument cet air, pour ne laiſſer qu'un vuide parfait, loin que la lumiere paſſât plus facilement dans ce vuide qui n'oppoſe aucune réſiſtance, au contraire elle éprouveroit plus de difficulté, & plus de rayons ſeroient réfléchis au paſſage.

Je ne ſçais pas pourquoi on a donné cela, dans les *Tranſactions Philoſophiques*, comme une nouveauté paradoxale; car cette eſpece de phénomene eſt une ſuite néceſſaire de la loi de la réfraction. En effet, lorſque la lumiere paſſe d'un milieu plus rare dans un plus denſe, comme de l'air dans l'eau, le paſſage eſt toujours poſſible, parceque le ſinus de réfraction eſt moindre que celui d'incidence, ſçavoir, en raiſon de 3 à 4, dans le cas énoncé. Mais au contraire, lorſque la lumiere tend à paſſer obliquement de l'eau dans l'air, le paſſage eſt impoſſible ſous une certaine obliquité, parceque le ſinus de réfraction eſt toujours plus grand que celui d'incidence, ſçavoir, ici dans le rapport de 4 à 3. Il y a donc une obliquité telle que le ſinus de réfraction ſeroit plus grand que le ſinus total; & cela arriveroit ſi le ſinus d'inci-

dence étoit tant ſoit peu plus grand que les $\frac{3}{4}$ du rayon, ce qui répond à un angle de 48° 36′. Mais un ſinus ne peut excéder le ſinus total. Il y a donc, dans ce cas, impoſſibilité que le rayon de lumiere pénetre le nouveau milieu. Ainſi, tandis que ſous toutes les inclinaiſons la lumiere paſſe du milieu plus rare dans le plus denſe, de l'air, par exemple, dans l'eau, il en eſt, ſçavoir toutes celles qui ſont moindres que l'angle de 41° 24′ avec la ſurface réfringente, qui ne permettent plus le paſſage de la lumiere de l'eau dans l'air: elle eſt alors obligée de ſe réfléchir, & la réfraction ſe change en réflexion. Or, quoique, ſous des angles d'inclinaiſon plus grands, la lumiere puiſſe paſſer de l'eau dans l'air, cependant cette diſpoſition à ſe réfléchir, ou cette difficulté à traverſer d'un milieu dans l'autre, ſe perpétue dans tous ces angles, de maniere qu'il y a moins de rayons réfléchis lorſqu'un rayon mu dans l'air tend à paſſer dans l'eau ſous un angle de 60°, que lorſqu'il tend à ſortir de l'eau dans l'air ſous le même angle. Enfin, lors même que la lumiere tend à paſſer perpendiculairement de l'eau dans l'air, il s'en réfléchit davantage que lorſqu'elle tend à paſſer perpendiculairement de l'air dans l'eau.

Une expérience fort ſimple ſert à démontrer cette vérité. Rempliſſez une bouteille de vif-argent, à peu près juſqu'au tiers, & enſuite mettez-y de l'eau juſqu'à l'autre tiers, enſorte que vous ayiez deux ſurfaces paralleles, l'une de vif-argent, l'autre d'eau. Mettez quelqu'objet lumineux à une hauteur mitoyenne entre ces deux ſurfaces, & l'œil du côté oppoſé & à la même hauteur que cet objet: vous le verrez à travers la bouteille, &

réfléchi preſque avec la même vivacité, ſoit ſur la ſurface du vif-argent, ſoit ſur celle qui ſépare l'eau de l'air. L'air réfléchit donc ici la lumiere preſque avec autant de vivacité que le vif-argent.

*REMARQUES.*

1. On eſt donc fondé à conclure de-là, que la ſurface de l'eau eſt pour les êtres plongés dans ce fluide, un miroir beaucoup plus réfléchiſſant que cette même ſurface ne l'eſt pour les êtres qui ſont dans l'air. Les poiſſons ſe voient beaucoup plus diſtinctement & plus vivement lorſqu'ils nagent près de la ſurface de l'eau, que nous ne nous voyons ſur cette même ſurface.

2. Rien n'eſt plus propre que ce phénomene à prouver la vérité des raiſons que Newton donne de la réflexion & de la réfraction. La lumiere, paſſant d'un fluide denſe dans un plus rare, eſt préciſément, ſuivant Newton, dans le même cas où ſeroit une pierre lancée obliquement en l'air, ſi l'on ſuppoſoit que l'énergie de la peſanteur n'agît pas au-delà d'une diſtance déterminée, par exemple de 4 toiſes; car on démontre que, dans ce cas, la déviation de cette pierre ſeroit préciſément la même, & aſſujettie à la même loi que la lumiere dans la réfraction. Il y auroit de même des inclinaiſons ſous leſquelles la pierre ne ſçauroit paſſer de cet atmoſphere de peſanteur au dehors, quoiqu'il n'y eût au dehors rien de réſiſtant, fût-ce même un vuide parfait.

Il ne faut cependant pas dire dans ce cas, comme un homme célebre, expliquant la philoſophie neutonienne, que le vuide réfléchit la lumiere: ce n'eſt qu'une façon de parler. Pour s'énoncer avec exactitude, il faudroit dire que la

lumiere eſt ramenée d'autant plus fortement vers le milieu denſe, que le milieu qui eſt au-delà eſt plus rare.

Nous ne ſommes rien moins que ſatisfaits de ce qu'on dit ſur cela dans le *Dictionnaire d'Induſtrie*, où l'on pourroit d'ailleurs être étonné de voir traiter de phénomenes optiques; car on dit que ce phénomene dépend de l'impénétrabilité de la matiere, & de l'extrême poliſſure de la ſurface réfléchiſſante. Mais lorſque la lumiere eſt réfléchie fortement à ſon paſſage de l'eau dans le vuide, ou un eſpace preſque vuide d'air, où eſt l'impénétrabilité de la matiere réfléchiſſante, puiſqu'un pareil eſpace a bien moins d'impénétrabilité que l'air ou l'eau? Quant à la poliſſure de la ſurface réfléchiſſante, elle eſt égale, ſoit pour le rayon paſſant de l'air dans l'eau, ſoit pour celui qui paſſe de l'eau dans l'air.

## PROBLÊME LXV.

*Expoſition d'un phénomene non-apperçu ou négligé par les Phyſiciens.*

En plaçant votre doigt perpendiculairement & fort près de votre œil, comme à quelques pouces tout au plus, regardez la lumiere d'un flambeau, enſorte que le bord de votre doigt paroiſſe très-voiſin de la flamme: vous verrez alors le bord de cette flamme colorée de rouge. Faites enſuite paſſer le bord de votre doigt au devant de la flamme, enſorte qu'il n'en laiſſe appercevoir à l'œil que le ſecond bord: celui-ci paroîtra teint de bleu, tandis que le bord du doigt ſera coloré de rouge.

Si vous faites la même choſe à l'égard d'un corps opaque plongé au milieu de la lumiere,

comme d'une traverſe de croiſée, les couleurs paroîtront dans un ordre oppoſé. Ainſi, lorſqu'il reſtera ſeulement entre le doigt & la traverſe un filet de lumiere, le bord de votre doigt ſera teint de rouge, & le bord voiſin de la traverſe ſera bordé de bleu; mais lorſque vous aurez rapproché le bord de votre doigt du ſecond bord de la traverſe, enſorte qu'elle en ſoit preſque entiérement cachée, ce ſecond bord ſera teint de rouge; & ſans doute le bord du doigt paroîtroit coloré en bleu, ſi cette couleur ſombre pouvoit paroître ſur un fond brun & obſcur.

Ce phénomene tient ſans doute à la différente réfrangibilité de la lumiere, & l'on en demande l'explication & le développement.

## PROBLÊME LXVI.

*De quelques autres Phénomenes curieux des Couleurs & de la Viſion.*

### I.

LORSQUE votre croiſée eſt fortement éclairée par la lumiere du jour, regardez-la fixément & attentivement pendant quelques minutes, ou juſqu'à ce que votre œil ſoit un peu fatigué; fermez enſuite les yeux: vous verrez dans l'œil la repréſentation des carreaux que vous avez conſidérés, mais la place des traverſes ſera lumineuſe & blanche, & celle des carreaux obſcure & noire. Mettez enfin votre main devant vos yeux, de maniere à en intercepter abſolument le reſtant de lumiere que laiſſent paſſer les paupieres; le phénomene changera: vous verrez les carreaux lumineux & les traverſes noires. Otez votre main; la place des

carreaux ſera noire, & celle des traverſes lumineuſe.

II.

Conſidérez & fixez quelque temps attentivement un corps très-lumineux, par exemple le ſoleil; lorſque vous jetterez la vue ſur d'autres objets dans un lieu fort éclairé, vous y appercevrez une tache noire; un peu moins de jour fera paroître cette tache bleue; moins encore de lumiere la fera devenir pourpre; enfin cette tache que vous porterez au fond de l'œil ſera lumineuſe dans un endroit abſolument obſcur,

III.

Si vous regardez long-temps, & juſqu'à vous fatiguer un peu, un livre imprimé, avec des conſerves vertes; lorſque vous les aurez ôtées, le blanc du livre vous paroîtra rougeâtre: mais regardez de la même maniere un livre avec des lunettes ou conſerves rouges; lorſque vous les aurez quittées, le blanc du livre vous paroîtra verdâtre.

IV.

Si vous conſidérez avec attention une tache d'un rouge éclatant ſur un fond blanc, comme un petit quarré de papier rouge ſur un papier blanc, vous verrez après quelque temps, autour de ce papier rouge, une bordure bleue: détournez alors l'œil de deſſus cet objet, pour le porter ſur le papier blanc, vous verrez un quarré de vert tendre, tirant ſur le bleu, qui durera plus ou moins, ſelon que vous aurez conſidéré la couleur rouge plus long-temps, & que ſon éclat aura été plus

vif. Cette impreſſion s'affoiblira à meſure que vous porterez l'œil ſur d'autres objets.

Si, au lieu d'un quarré de papier rouge ſur un fond blanc, vous conſidérez de même une tache jaune, vous verrez, en portant l'œil ſur le fond blanc, une tache bleue.

Un papier vert ſur un fond blanc, conſidéré de la même maniere, produira dans l'œil une tache d'un pourpre pâle; & un papier bleu, une tache d'une teinte d'un rouge pâle.

Enfin, ſi l'on conſidere de la même maniere une tache noire ſur un fond blanc, on verra, après quelque temps d'attention, une bordure blanche ſe former autour de la tache noire; & alors, détournant l'œil ſur le fond blanc, vous verrez une tache d'un blanc plus éclatant que ce fond, & qui s'en détache très-bien. C'eſt tout le contraire lorſqu'on regarde une tache blanche ſur un fond noir.

Ainſi, dans ces expériences, le rouge eſt oppoſé au vert & le produit, comme le vert produit le rouge; le bleu & le jaune ſont oppoſés, & ſe produiſent l'un l'autre. Il en eſt de même du noir & du blanc; ce qui indique évidemment un effet conſtant, & dépendant de l'organiſation de l'œil.

C'eſt-là ce que l'on appelle les *couleurs accidentelles*; objet que le docteur Jurin, de la S. R. de Londres, a le premier conſidéré, que M. de Buffon a enſuite beaucoup étendu, & ſur lequel il a donné un Mémoire à l'Académie en 1743. Cet homme célebre ne donne aucune explication de ces phénomenes, & s'y borne à dire que, quoiqu'aſſuré de ſes expériences, les conſéquences ne lui paroiſſent pas encore aſſez certaines pour rien haſarder ſur la formation de ces couleurs. Il y a tout lieu de croire qu'il en eût démêlé la cauſe, ſi ſes

autres occupations le lui euſſent permis. Mais ce que M. de Buffon n'a pas fait, le docteur Godard, médecin de Vervier, vient de le tenter avec ſuccès. L'explication qu'il donne de ces phénomenes, & de pluſieurs autres du même genre, dans le *Journal de Phyſique* (Mai & Juillet 1776) de M. l'abbé Roſier, me paroît tout-à-fait ſatisfaiſante, & porter avec ſoi la conviction.

## PROBLÊME LXVII.

*Déterminer combien de temps la ſenſation de la lumiere dure dans l'œil.*

TOUT le monde connoît un phénomene qui dépend de cette durée. Qu'on agite un tiſon en rond; ſi ce mouvement eſt aſſez rapide, on verra comme un cercle de feu. Il eſt évident que cela vient uniquement de ce que la vibration imprimée dans les fibres de la rétine, n'eſt pas encore éteinte lorſque l'image du tiſon repaſſe ſur les mêmes fibres. Ainſi, quoique probablement il n'y ait ſur la rétine qu'un point de lumiere, à chaque inſtant on reçoit la même ſenſation que ſi ce point de lumiere laiſſoit une trace continue.

Or on a trouvé, en calculant la viteſſe du corps lumineux qu'on met en mouvement, que lorſqu'il faiſoit ſa révolution en plus de 8 tierces, le ruban de feu étoit interrompu; d'où l'on doit conclure que l'impreſſion faite ſur une fibre, dure cet intervalle de temps. Mais l'on pourroit demander ſi ce temps eſt le même pour toutes les lumieres, de quelqu'intenſité qu'elles ſoient; c'eſt ce que je ne crois pas; ſans doute une lumiere plus vive excite en même temps une impreſſion plus vive & plus durable.

# SUPPLÉMENT

*Contenant un précis des Obſervations Microſcopiques les plus curieuſes.*

LES phyſiciens n'ont pas plutôt été en poſſeſſion du microſcope, qu'ils ſe ſont empreſſés à faire uſage de cet inſtrument merveilleux pour pénétrer dans la contexture des corps qui, par leur petiteſſe, ſe déroboient à leurs regards. Il n'eſt preſque point d'objet dans la nature qu'on n'ait appliqué au microſcope, & pluſieurs ont préſenté un ſpectacle qu'on n'auroit jamais imaginé. Quoi de plus inattendu en effet que les animaux ou les molécules (car tout le monde ne convient pas de leur animalité) qu'on voit nager dans le vinaigre, dans les infuſions des plantes, dans la ſemence des animaux ? quoi de plus curieux que le mécaniſme des organes de la plupart des inſectes, même de ceux qui échappent ordinairement à notre vue, comme leurs yeux, leurs tarieres, leurs trompes, leurs filieres, &c ? Quoi de plus digne d'admiration que la compoſition du ſang, dont le microſcope nous fait appercevoir les éléments ; la contexture de l'épiderme, la ſtructure du lichen, celle de la moiſiſſure, &c, &c ? Nous allons parcourir les principaux de ces phénomenes, & donner ici un précis des obſervations les plus curieuſes de ce genre.

## §. I.

*Des animaux ou prétendus animaux du vinaigre & des infusions des plantes.*

1. Laissez pendant quelques jours du vinaigre exposé à l'air; après quoi prenez-en une goutte, & posez-la sur le porte-objet transparent du microscope, soit simple, soit composé; éclairez par dessous le porte-objet : vous appercevrez dans cette goutte de liqueur des corps ressemblants à de petites anguilles qui sont dans un mouvement continuel. On ne sçauroit mieux les comparer qu'à de petits serpents, à raison des circonvolutions qu'on voit faire à leur corps délié & allongé.

Mais on auroit tort d'attribuer, comme de bonnes-gens l'ont pensé, l'acidité du vinaigre à l'action de ces animalcules, vrais ou prétendus, sur l'organe de la langue & du goût; car le vinaigre qui en est privé n'est pas moins acide, s'il ne l'est davantage. On ne voit en effet ces anguilles ou serpents que dans du vinaigre qui, exposé depuis quelque temps à l'air, commence à passer de l'acidité à la putréfaction.

2. Faites infuser pendant quelques jours, du poivre légérement concassé dans de l'eau pure, & après cela exposez-en une goutte au microscope; ce sera un autre spectacle : vous y verrez de petits animaux en nombre innombrable. Ils sont de forme elliptique, médiocrement oblongue. On les voit dans un mouvement continuel, allant & venant dans tous les sens, se détournant lorsqu'ils se rencontrent, ou qu'ils trouvent sur leur passage quelque masse immobile. On en voit quelquefois s'allonger pour passer dans un espace étroit. Quel-

ques auteurs, d'une imagination vive apparemment, croient même en avoir vu s'accoupler & accoucher; mais on peut se dispenser d'ajouter foi à cette observation.

Si vous faites infuser dans de l'eau d'autres corps végétaux, vous verrez des animalcules d'une forme différente. Dans certaines infusions, ils ressemblent à des ovales avec un petit bec & une longue queue; dans d'autres, ils sont alongés comme des lézards: il en est où ils ont l'apparence de certaines chenilles ou vers armés de longs poils: quelques-uns dévorent ou semblent dévorer leurs camarades.

Lorsque la goutte dans laquelle ils nagent, & qui est pour eux comme un vaste bassin, diminue par l'effet de l'évaporation, ils se retirent à mesure vers le milieu, où ils s'amoncelent, & périssent enfin quand l'humide leur manque absolument. On les voit alors se tourmenter, faire des efforts, s'élancer, pour échapper à la mort, ou à l'état de mal-aise qu'ils éprouvent. Ils sont, pour la plupart, très-ennemis des liqueurs salées ou acides. Si, dans une goutte d'infusion qui fourmille de ces animalcules, vous mettez la plus petite quantité d'acide vitriolique ou de vinaigre, vous les voyez tout-à-coup périr, en se renversant sur le dos; quelquefois même en perdant leur peau, qui se brise, & laisse sortir une quantité de petits globules, qu'on apperçoit le plus souvent au travers de leur peau transparente. Il en est de même si l'on jette dans l'infusion quelque peu d'urine.

Il se présente naturellement ici une question. Doit-on regarder ces molécules mobiles comme des animaux? On est partagé sur cela. M. de Buffon ne le pense pas, & les range seulement, ainsi

que les animaux ſpermatiques, dans la claſſe de certains corps qu'il appelle *molécules organiques*. Mais qu'eſt-ce que des molécules organiques ? C'eſt ce qu'il ſeroit trop long d'expliquer. Il faut recourir à l'*Hiſtoire Naturelle* de ce ſçavant & célebre écrivain.

M. Needham conteſte auſſi à ces petits corps l'animalité, c'eſt-à-dire une animalité parfaite, qui conſiſte à ſe nourrir, croître, multiplier, être doué d'un mouvement ſpontanée ; mais il leur donne une ſorte de vitalité obſcure ; &, de toutes ſes obſervations, il tire des conſéquences ſur leſquelles il étaye un ſyſtême très-ſingulier. Il penſe que la matiere végétale tend à s'animaliſer. Comme ce ſont les anguilles produites par l'infuſion de la colle de farine qui jouent un grand rôle dans le ſyſtême de ce naturaliſte, un homme célebre n'a jamais laiſſé échapper l'occaſion de verſer ſur lui le ridicule à pleine coupe, en les appellant les anguilles du Jéſuite Needham, & en le repréſentant comme un partiſan des générations ſpontanées, juſtement rejetées aujourd'hui par tous les philoſophes modernes. Mais des plaiſanteries ne ſont pas des raiſons. Nous connoiſſons ſi peu la limite entre le regne végétal & l'animal, que c'eſt être bien hardi que de la fixer. Au reſte, il faut en convenir, les idées de M. Needham ſur cela ſont ſi obſcures, que je penſe que peu de lecteurs ſont parvenus à l'entendre.

D'autres naturaliſtes & obſervateurs tiennent au contraire pour l'animalité de ces petits êtres : car, diſent ces obſervateurs, qu'eſt-ce qui peut caractériſer davantage l'animal, que la ſpontanéité de ſon mouvement ? Or ces molécules, lorſqu'elles ſe rencontrent dans leurs courſes, rétrogradent,

dent, non par l'effet d'un choc, comme feroient deux globules élaſtiques; mais la partie qui ordinairement marche la premiere, ſe détourne à la proximité du corps qui vient au devant d'elle: quelquefois l'une & l'autre ſe contentent d'infléchir leur direction pour ne ſe pas choquer. A la vérité on ne les a pas vues encore ni s'accoupler, ni pondre, ni même ſe nourrir; mais cette derniere fonction peut bien s'exécuter ſans un acte apparent, comme celui de la plupart des autres animaux. L'extrême petiteſſe & la forme étrange de ces molécules, ne ſeroient pas des raiſons contre leur animalité. On ne doute point aujourd'hui de celle des polypes aquatiques. Leur forme eſt bien auſſi extraordinaire, ſi elle ne l'eſt davantage, que celle des molécules mobiles des infuſions. Pourquoi donc refuſer l'animalité à celles-ci.

On pourroit pourtant encore répondre à cette parité prétendue. On voit le polype naître, croître, ſe régénérer, à la vérité par un moyen fort éloigné de celui des autres animaux connus: on les voit ſur-tout ſe nourrir. Les animaux prétendus microſcopiques ne font rien de ſemblable: on ne doit donc pas les ranger dans la même claſſe. Mais convenons que tout cela eſt encore fort obſcur, & qu'il eſt ſage de ſuſpendre ſon jugement.

## §. II.

### *Des Animaux ſpermatiques.*

Parmi les découvertes microſcopiques du ſiecle dernier, il n'en eſt aucune qui ait fait plus de bruit que celle de ces molécules mobiles qu'on apperçoit dans la ſemence des animaux, & qu'on appelle *animalcules ſpermatiques.* Ce fut le fameux Lewenhoek qui le premier fit & annonça cette ſinguliere

découverte. Il vit dans la ſemence humaine une multitude de petits corps, la plupart avec des queues très-longues & très-déliées, qui étoient dans un mouvement continuel. Leur groſſeur eſt beaucoup moindre que les plus petits grains de ſable; elle eſt même ſi petite dans quelques liqueurs ſéminales, que cent mille, & même un million, n'égaleroient pas un grain de pavot. Par un autre calcul, Lewenhoek fait voir que, dans la laite d'un metlus, il y a un plus grand nombre d'animaux de cette eſpece, qu'il n'y a d'hommes ſur la ſurface de la terre.

Lewenhoek ne s'eſt pas borné à conſidérer la ſemence humaine; il a examiné de la même maniere la liqueur prolifique de quantité d'animaux, tant quadrupedes que volatiles, & même celle de quelques inſectes. Dans toutes ces ſemences, il vit à peu près le même phénomene. Cette obſervation a depuis été réitérée par nombre d'obſervateurs, & a donné lieu à un ſyſtême ſur la génération, qu'il eſt ſuperflu de développer ici.

Mais perſonne n'a fait des obſervations plus foiſes & plus exactes que M. de Buffon ſur le ſujet dont nous nous occupons, & nous allons par cette raiſon en donner le précis.

Ce naturaliſte célebre, s'étant procuré une quantité aſſez conſidérable de la ſemence extraite des véſicules ſéminales d'un homme qui venoit de périr de mort violente, le premier objet qui ſe préſenta à ſa vue, armée d'un excellent microſcope, furent des filaments longuets, qui avoient un mouvement comme de vibration; ils lui parurent auſſi renfermer dans leur intérieur de petits corps. La ſemence qu'il obſervoit ayant pris un peu plus de liquidité, il vit ces filaments s'enfler

en quelques points, & il en ſortit des corps oblongs & elliptiques, dont une partie reſta d'abord attachée à ces filaments par une longue queue très-déliée. Quelque temps après, & cette ſemence étant devenue encore plus liquide, les filaments avoient diſparu; & il ne reſtoit plus dans la liqueur que ces corps ovales avec des queues, par l'extrémité deſquelles ils ſembloient attachés, ſur leſquelles ils ſe balançoient comme un pendule, & ayant cependant un mouvement progreſſif, mais lent, & comme embarraſſé par l'adhérence de leurs queues à la liqueur : ils avoient de plus une ſorte de mouvement de roulis; ce qui prouve qu'ils n'avoient pas une baſe applatie, mais qu'ils étoient à peu près ronds dans leur coupe tranſverſale. Quelque temps étant encore écoulé, & la liqueur ſéminale ayant acquis plus de fluidité, c'eſt-à-dire douze ou quinze heures après, les petits corps mobiles s'étoient dépouillés de leurs queues, & n'avoient l'apparence que de corps elliptiques, ſe mouvant avec beaucoup de vivacité. Enfin, à meſure que la matiere s'atténue davantage, ils ſe diviſent de plus en plus, juſqu'à diſparoître, ou ils ſe précipitent au fond de la liqueur, & ſemblent perdre leur vitalité.

Il arriva une fois à M. de Buffon, lorſqu'il conſidéroit ces molécules mobiles, de les voir défiler comme un régiment, ſept à ſept, ou huit à huit, marchants toujours très-ſerrés & du même côté. Il rechercha la cauſe de cette apparence, & il trouva que ces molécules partoient toutes d'une maſſe de filaments amoncelés, qui ſe trouvoit dans un coin de la goutte ſpermatique, & ſe réſolvoit ainſi ſucceſſivement en petits globules alongés. Ils étoient au reſte tous ſans queue. Cela

rappelle l'idée ſinguliere d'un naturaliſte, qui, voyant pareille choſe dans la ſemence d'un bélier, crut y trouver la raiſon de l'inclination particuliere de ces animaux à marcher en troupe, & à ſe ſuivre les uns les autres.

M. de Buffon a obſervé de la même maniere la liqueur ſpermatique de divers autres animaux, de bœuf, de bélier, &c; & il y a vu les mêmes molécules d'abord avec des queues, & s'en privant par degré, à meſure que la liqueur prenoit de la fluidité. Quelquefois auſſi elles lui ont paru ſans queue dès leur premiere apparition & formation. C'eſt en quoi ſes obſervations different de celles de Lewenhoek, qui repréſente conſtamment ces prétendus animalcules avec des queues, dont il dit même qu'ils paroiſſent s'aider dans leurs mouvements, & qu'on leur voit tortiller en différents ſens. Les obſervations de M. de Buffon different auſſi de celles du naturaliſte Hollandois, en ce que le dernier dit n'avoir jamais pu trouver de trace de ces animalcules dans la ſemence ou la liqueur extraite des ovaires des femelles, tandis que M. de Buffon a vu ces molécules mobiles dans cette liqueur, à la vérité moins fréquemment, & ſeulement dans quelques circonſtances.

On voit par-là qu'il y a encore des recherches à faire ſur la nature de ces molécules mobiles, puiſque deux obſervateurs auſſi célebres ne s'accordent pas dans toutes les circonſtances du même fait.

On n'apperçoit, au reſte, rien de ſemblable dans les autres liqueurs animales, telles que le ſang, la lymphe, le lait, la ſalive, l'urine, le fiel, le chyle; ce qui ſemble indiquer que ces animaux ou molécules vivantes jouent un rôle dans la génération.

## §. III.

*Des Animaux ou Molécules mobiles du blé vicié.*

Voici encore une obſervation microſcopique qu'on peut hardiment regarder comme la plus ſinguliere de toutes ; car, ſi on en tire toutes les conſéquences qu'en déduiſent quelques-uns de ſes auteurs, elle nous préſente l'exemple d'une réſurrection répétée, pour ainſi dire à volonté.

La maladie du blé qui préſente ce phénomene étrange, eſt, non la carie, ni l'ergot, comme quelques auteurs l'ont dit, faute d'une connoiſſance ſuffiſante des différences ſpécifiques des maladies des grains, mais cette maladie qu'on doit appeller l'*avortement* ou le *rachitiſme*. Si l'on prend un grain de blé qui eſt dans cet état, & qu'on l'ouvre avec précaution, on le trouvera rempli d'une ſubſtance blanche, qui ſe diviſe elle-même facilement en une multitude de petits corps blancs & alongés, comme de petites anguilles renflées dans le milieu de leur corps. Tant que ces molécules, (car on nous permettra d'être encore neutres ſur leur animalité prétendue ou vraie), tant que ces molécules, dis-je, ſont dans cet état de ſéchereſſe, elles ne donnent aucun ſigne de vie ; mais ſi on les humecte avec de l'eau bien pure, on les voit ſur le champ ſe mettre en mouvement, & donner toutes les marques de l'animalité. Laiſſe-t-on deſſécher la goutte de fluide dans laquelle elles nagent, elles perdent leur mouvement ; mais on eſt maître de le leur rendre, même pluſieurs mois après leur mort apparente, en les replongeant dans l'eau. M. Fontana, obſervateur Italien, ne fait nulle difficulté de regarder cela comme une réſurrec-

tion. Si, après des obſervations réitérées, ce phénomene ſe vérifie, ainſi que celui du ſerpent du Pérou, auquel, pluſieurs mois après l'avoir laiſſé deſſécher au bout d'une corde, on rend la vie en le plongeant dans un bourbier qui eſt ſon élément, nos idées ſur l'animalité pourroient étrangement changer. Mais j'avoue que je n'ajoute pas foi à ce dernier fait, quoique M. Bouguer, qui le rapporte ſur le témoignage du P. Gumilla, Jéſuite, & d'un chirurgien François, ne le rejette pas entiérement (*a*). Au reſte quelques autres obſervateurs, (comme M. Roffredi,) prétendent avoir reconnu dans ces molécules anguilliformes, l'ouverture de la gueule, celle des parties féminines, &c. Ils prétendent enfin avoir démêlé dans le ventre de l'anguille mere le mouvement des petites anguilles qu'elle contenoit, &, ayant ouvert le corps à celle-ci, en avoir vu ſa progéniture ſe répandre ſur le porte-objet de leur microſcope. Ce ſont des obſervations à conſtater: elles le méritent aſſurément, par les lumieres qu'elles jetteroient ſur l'animalité.

## §. IV.

### *Les Mouvements de la Tremella.*

La tremella eſt cette plante gélatineuſe, verdâtre, qui ſe forme dans les eaux ſtagnantes, & qui eſt connue des naturaliſtes ſous le nom de *conferva gelatinoſa omnium tenerrima & minima, aquarum limo innaſcens.* Elle eſt compoſée d'une multitude

(*a*) Il ſeroit à ſouhaiter que M. Bouguer ſe fût aſſuré de la vérité ou de la fauſſeté du phénomene; cela ſeul vaudroit la peine d'un voyage au Pérou: mais il dit avoir été trop preſſé dans ſon voyage pour vérifier ce fait.

de filets entrelacés les uns avec les autres. Considérés seuls, ils sont composés de petites parties d'environ une ligne de longueur, articulées les unes avec les autres.

Jusqu'ici rien ne rend cette production de la nature recommandable & singuliere aux yeux du physicien; mais les observations microscopiques y ont fait découvrir deux propriétés fort extraordinaires. L'une est un mouvement spontanée dont ces filets sont doués. Si l'on en considere un isolé, & placé sur le porte-objet du microscope, suffisamment humecté, on apperçoit ses extrémités s'élever & s'abaisser alternativement, & se porter à droite & à gauche; il se tortille en même temps en divers sens, & sans aucune impression extérieure. Quelquefois, au lieu de la ligne droite qu'il formoit par sa longueur, il vient former une ovale ou une courbe irréguliere. Si deux sont à côté l'un de l'autre, ils se tortillent & s'entrelacent, ou quelquefois ils s'avançent lentement, & par un mouvement imperceptible, l'un d'un côté, l'autre de l'autre. Ce mouvement a été estimé par M. Adanson, être d'environ un 400$^{e}$ de ligne par minute.

L'autre propriété de cette plante est qu'elle meurt & ressuscite, pour ainsi dire, à plusieurs repriſes; car, si plusieurs filets ou une masse de tremella se desseche, elle perd entiérement la faculté dont nous venons de parler. Elle restera plusieurs mois dans cet état de mort, ou, si l'on veut, de sommeil; mais replongez-la dans l'humidité nécessaire, elle renaît, pour ainsi dire, ses mouvements se rétablissent, & elle se multiplie comme elle a coutume de faire.

M. l'abbé Fontana, observateur célebre de

Parme, n'hésite point, d'après tous ces faits, à ranger la tremella au nombre des zoophytes, & de la regarder comme le passage du végétal à l'animal, ou de l'animal au végétal; enfin, comme un animal ou végétal doué de la belle propriété de pouvoir mourir & ressusciter alternativement. Mais cette mort est-elle une véritable mort, ou un simple sommeil, une suspension de toutes les facultés dans lesquelles consiste la vie de cette plante? Pour répondre à cette question, il faudroit sçavoir précisément ce que c'est que la mort. Nous dirions ici bien des choses, si c'en étoit la place.

## §. V.

### *De la Circulation du Sang.*

Si l'on veut se procurer le plaisir d'observer la circulation du sang au moyen du microscope, on y parviendra facilement. Parmi les objets qu'on peut employer à cet usage, sont principalement la membrane déliée & transparente qui joint les doigts des grenouilles, & la queue du têtard. Etendez & assujétissez cette membrane sur un verre, que vous éclairerez par dessous; vous verrez avec un plaisir singulier le cours du sang dans les vaisseaux dont elle est parsemée; vous croirez voir un archipel d'îles, entre lesquelles coule un courant rapide.

On prend aussi un têtard, ou cet animal qui est la premiere forme sous laquelle paroît la grenouille; &, après avoir enveloppé son corps d'un linge humide & délié, l'on pose sa queue sur le porte-objet transparent du microscope, & on l'éclaire par dessous: on voit très-distinctement le mouvement du sang, qui, dans certains vaisseaux,

marche par eſpece d'ondulations, & dans d'autres d'un mouvement uniforme. Les premiers ſont les arteres dans leſquelles le ſang marche par un effet de la pulſation alternative du cœur: les autres ſont les veines.

On peut voir auſſi circuler le ſang dans les jambes & queues des crevetes, en mettant ces poiſſons dans l'eau avec un peu de ſel; mais leur ſang n'eſt pas rouge. Les ailes des ſauterelles y ſont auſſi propres; & l'on ne verra pas ſans plaiſir les globules verts de leur ſang emportés par la ſérofité dans laquelle ils nagent.

Les jambes tranſparentes des petites araignées, celles des petites punaiſes, préſentent enfin des moyens d'obſerver le mouvement de leur ſang. On voit dans les dernieres une vibration extraordinaire de vaiſſeaux, que M. Baker dit n'avoir vue aucune autre part.

Mais, de tous les ſpectacles ſemblables, le plus curieux eſt celui que préſente le méſentere d'une grenouille vivante, appliqué ſur-tout au microſcope ſolaire, comme M. Baker dit l'avoir fait avec le docteur Alexandre Stuard, médecin du roi d'Angleterre. On ne peut pas exprimer, dit-il, la ſcene merveilleuſe qui ſe préſenta à nos yeux: nous vîmes dans un même inſtant le ſang qui rouloit dans un nombre innombrable de vaiſſeaux, allant dans les uns d'un côté, & dans les autres du côté oppoſé. Pluſieurs de ces vaiſſeaux étoient groſſis au deſſus d'un pouce de diametre, & les globules du ſang y paroiſſoient preſque auſſi gros que des grains de poivre, pendant que dans pluſieurs beaucoup plus petits ils ne pouvoient paſſer qu'un à un, & étoient obligés de changer leur figure en celle de ſpéroïde oblong.

## §. VI.

### *De la Compoſition du Sang.*

Il faut prendre avec la pointe d'une plume ou un pinceau bien doux, une petite goutte de ſang tout récemment tiré de la veine; vous l'étendrez auſſi mince que vous pourrez ſur une lame de talc; alors, ſi vous vous ſervez d'une des plus fortes lentilles de votre microſcope, vous verrez diſtinctement ſes globules.

On a obſervé par ce moyen que les globules rouges du ſang humain ſont compoſés de ſix autres globules plus petits, réunis en un ſeul; & que lorſque, par une cauſe quelconque, ils ſont déſunis entr'eux, ils n'ont plus la couleur rouge. La petiteſſe des globules rouges eſt, au ſurplus, exceſſive, leur diametre n'étant que d'une 160$^{e}$ partie de ligne, enſorte qu'une ſphere d'une ligne de diametre en contiendroit 4096000.

## §. VII.

### *De la Peau, de ſes Pores & de ſes Ecailles.*

Pour faire cette obſervation, il faut, avec un raſoir bien tranchant, s'enlever un morceau de l'épiderme, & l'appliquer au microſcope: vous le verrez couvert d'une multitude d'écailles extrêmement petites, ſi petites enfin, que, ſuivant M. Lewenhoek, un grain de ſable en peut couvrir deux cents; c'eſt-à-dire que, dans le diametre d'un grain de ſable, il y en a 14 ou 15. Ces écailles ſont rangées comme ſur le dos d'un poiſſon, ou comme les tuiles d'un toit, c'eſt-à-dire en recouvrement les unes ſur les autres.

Si l'on veut reconnoître plus commodément leur forme, il n'y a qu'à ratiſſer l'épiderme avec un canif, & mettre l'eſpece de pouſſiere qui en proviendra, dans une goutte d'eau; on verra avec plaiſir que ces écailles ſont ordinairement à cinq pans, & formées chacune en particulier comme de pluſieurs couches.

Au deſſous de ces écailles ſont les pores de l'épiderme : lorſqu'on les en a ôtées, on les apperçoit diſtinctement, comme autant de petits trous formés par une aiguille extrêmement fine. Lewenhoek en a compté 120 dans la longueur d'une ligne; enſorte qu'une ligne quarrée, dont 10 forment le pouce, en contiendroient 14400; un pied quarré, par conſéquent, 144000000; &, comme la ſurface du corps humain peut être eſtimée de 14 pieds quarrés, elle en contiendra 2016 millions.

A chacun de ces pores répond dans la peau même un tuyau excrétoire, dans lequel ſe plonge l'épiderme qui en revêt intérieurement le bord. Lorſque l'épiderme a été détaché de deſſus la peau, on apperçoit par derriere ces prolongements intérieurs de l'épiderme, comme, quand on a percé un papier avec une aiguille peu tranchante, on voit au verſo de la feuille, la bavûre faite par la ſurface qui a été enfoncée & déchirée.

Les pores de la peau ſont ſur-tout remarquables dans les mains & aux pieds. On n'a qu'à ſe bien laver les mains avec du ſavon, & conſidérer la paume de la main avec un verre ordinaire; on verra une multitude de ſillons, entre leſquels ſont les pores. Si l'on eſt dans un état de ſueur, on aura un grand plaiſir à voir ſortir de chacun de ces trous une goutte inſenſible de liqueur, qui donnera à chaque pore l'apparence d'une fontaine.

## §. VIII.

### *Des Poils des Animaux.*

Les poils des animaux, vus au microſcope, paroiſſent être des corps organiſés, comme les autres parties du corps humain, & préſentent la matiere de beaucoup d'obſervations agréables, par la variété de leur conformation & contexture. La plupart paroiſſent compoſés de fibres creuſées en tube, longues & minces, ou de pluſieurs petits poils recouverts d'une écorce commune : quelques autres ſont percés de part en part & dans toute leur longueur ; tels ſont ceux des cerfs de l'Inde. Le poil de la mouſtache d'un chat, coupé en travers, préſente l'apparence d'une partie médullaire, qui regne dans ſa longueur comme dans une tige de ſureau. Ceux du hériſſon ont une vraie moëlle, qui eſt blanchâtre & étoilée.

On n'eſt cependant pas encore entiérement aſſuré de l'organiſation du cheveu humain. Des obſervateurs qui ont vu au milieu d'un cheveu une ligne blanchâtre, en ont tiré la conſéquence que c'étoit un vaiſſeau qui portoit juſqu'à l'extrémité un ſuc nutritif. D'autres conteſtent cette obſervation, & prétendent que ce n'eſt qu'une apparence optique formée par la convexité du cheveu. Il paroît cependant que le cheveu doit porter dans ſa longueur quelque vaiſſeau, s'il eſt vrai qu'on a vu, dans des perſonnes attaquées de la *plica polonica*, des cheveux étant coupés, jeter du ſang par l'extrémité. Mais cette obſervation eſt-elle sûre ?

## §. IX.

### *Singularités des Yeux dans la plupart des Inſectes.*

La plupart des inſectes n'ont point les yeux

mobiles, & couverts à volonté d'une paupiere, comme le reſte des animaux : cet organe eſt, chez les premiers, abſolument immobile ; & comme il manque de cette couverture utile qu'ont les autres pour les défendre, la nature y a pourvu en la formant d'une ſubſtance cornée, & propre à réſiſter aux chocs auxquels il eſt expoſé.

Mais ce n'eſt pas en cela que conſiſte la grande ſingularité des yeux des inſectes. Le microſcope nous a appris que ces yeux étoient eux-mêmes diviſés en une multitude prodigieuſe d'autres yeux plus petits. Prenons, par exemple, une mouche commune, & examinons ſes yeux au microſcope : nous trouverons d'abord aux deux côtés de ſa tête deux vaſtes bourrelets, comme deux hémiſpheres applatis. On peut voir cela ſans microſcope ; mais, par ſon moyen, nous verrons ces bourrelets hémiſphériques diviſés en une multitude prodigieuſe de rhomboïdes, ayant au milieu une convexité lenticulaire qui fait l'office de cryſtallin. Hodierna en a compté plus de 3000 ſur l'un des yeux d'une mouche commune ; M. Puget en a compté 8000 ſur chacun des yeux d'une mouche d'une autre eſpece ; enſorte qu'il y a de ces inſectes qui ont juſqu'à 16000 yeux : il y en a même qui en ont une plus grande quantité encore, Lewenhoek en ayant compté juſqu'à 14000 ſur chaque œil d'un autre inſecte.

Ces yeux, au ſurplus, ne ſont pas diſpoſés ſur tous de la même maniere ; la petite demoiſelle a, par exemple, indépendamment des deux bourrelets preſque hémiſphériques latéraux, deux autres éminences entre deux, dont la ſurface ſupérieure & convexe eſt auſſi garnie d'une multitude d'yeux qui regardent le ciel. Le même inſecte en

a enfin trois en forme de cône obtus & arrondi ſur le front. La mouche eſt dans le même cas, mais ces yeux ſont chez elle moins relevés.

C'eſt, dit Lewenhoek, un charmant ſpectacle que de conſidérer cette maſſe d'yeux ſur ces inſectes; car, ſi l'on eſt placé d'une certaine maniere, les objets voiſins ſe peignent ſur ces éminences ſphériques d'un diametre exceſſivement petit; & on les apperçoit, avec le microſcope, multipliés preſque autant de fois qu'il y a d'yeux, avec une diſtinction parfaite, & que l'art ne ſçauroit jamais atteindre.

Il y auroit une multitude d'autres choſes à dire ſur les organes des inſectes, & leur merveilleuſe variété & conformation; mais nous réſervons cela pour un autre endroit.

## §. X.

### *Des Mites du fromage, & autres.*

Mettez ſur le porte-objet du microſcope, de la pouſſiere qui ſe forme ſur l'écorce & aux environs de diverſes eſpeces de fromages vieux; vous la verrez fourmiller d'une multitude de petits animaux tranſparents, de figure ovale terminée en pointe & en forme de groin: ils ſont munis de huit jambes écailleuſes & articulées, au moyen deſquelles ils ſe traînent lourdement & languiſſamment de côté & d'autre: leur tête eſt terminée par un corps obtus & en forme de cône tronqué, où eſt apparemment placé l'organe par lequel ils ſe nourriſſent. Pluſieurs poils fort longs & terminés en pointe ſont placés ſur leurs corps, & principalement ſur les parties latérales. On apperçoit enfin l'anus bordé de poils dans la partie inférieure du ventre.

Il y a d'autres eſpeces de mites qui n'ont que ſix jambes, & qui ſont conſéquemment d'une eſpece différente.

Il y en a d'autres qui ſont vagabondes, & qu'on trouve par-tout dans les endroits où il y a des matieres propres à les nourrir.

Cet animal, au reſte, eſt très-vivace; car Lewenhoek dit en avoir attaché une ſur une épingle devant ſon microſcope, & qu'elle vécut ainſi pendant onze ſemaines.

## §. XI.

### *Le Pou & la Puce.*

Voilà deux animaux bien déſagréables, ſur-tout le premier, & ils ne paroiſſent guere propres à être la matiere d'une obſervation intéreſſante. Mais, pour le philoſophe, il n'eſt point d'objet hideux dans la nature, parceque cette difformité n'eſt que relative, & que l'animal le plus affreux préſente ſouvent des ſingularités qui font mieux éclater l'infinie variété des œuvres du Créateur.

Prenez un pou, & faites-le jeûner une couple de jours; mettez-le enſuite ſur votre main: vous le verrez, preſſé par la faim, s'y fixer bien vîte, & enfoncer ſon ſuçoir dans votre peau. Si alors vous le conſidérez au microſcope, vous appercevrez à travers ſa peau votre ſang couler, ſous la forme d'un petit ruiſſeau, dans ſon ventricule ou le vaiſſeau qui en tient lieu, & de-là ſe diſtribuer dans d'autres parties, qu'on voit s'enfler par ſon abord.

Cet animal eſt un des plus hideux qu'on puiſſe voir: ſa tête eſt triangulaire, & terminée en une pointe aiguë, qui donne naiſſance à ſa trompe ou ſuçoir: aux deux côtés de la tête, & un peu loin

de ſa pointe antérieure, ſont placées deux groſſes antennes garnies de poils, & derriere, vers les deux autres angles émouſſés du triangle, ſont les deux yeux de l'animal : elle eſt liée, par un court étranglement, au corcelet, qui porte ſix jambes garnies de poil à leurs articulations, & de deux crochets à chaque bout. Le ventre eſt preſque tranſparent par deſſous, & porte ſur ſes côtés des eſpeces de tubercules, dont les derniers ſont garnis de deux crochets. M. Hook en a donné dans ſa *Micrographie* une figure d'environ un demi pied de large. Quand on a vu la repréſentation de cet animal, on n'eſt plus ſurpris des démangeaiſons qu'il cauſe ſur la peau de ceux que leur malpropreté y rend ſujets.

La puce a beaucoup de reſſemblance à la chevrette, ayant ſon dos arqué comme cet animal. Elle eſt comme cuiraſſée par de larges écailles placées en recouvrement les unes ſur les autres ſur tout ſon corps : ſa partie poſtérieure & arrondie, eſt fort groſſe relativement au ſurplus du corps : ſa tête eſt recouverte d'une écaille d'une ſeule piece ; & du devant partent trois eſpeces de tarieres avec leſquelles l'inſecte ſuce le ſang des animaux : ſix jambes, dont les cuiſſes ſont démeſurément groſſes, & dont la premiere paire eſt auſſi déméſurément longue, ſervent à éxécuter ſes mouvements. La groſſeur conſidérable des cuiſſes eſt ſans doute deſtinée à renfermer les muſcles puiſſants qui ſont néceſſaires pour porter l'inſecte à une hauteur ou une diſtance égale à pluſieurs centaines de fois ſa longeur : il falloit auſſi que, deſtiné à exécuter ces ſauts, il fût puiſſamment armé contre les chutes qu'il devoit faire ; & c'eſt à quoi la nature a pourvu par ſon armure écailleuſe.

écailleuſe. Vous trouverez dans Hook & dans Joblot la figure de la puce, ainſi que celle du pou, énormément groſſies.

## §. XII.

### *La Moiſiſſure.*

Il n'eſt rien de ſi curieux que ce que préſente la moiſiſſure vue au microſcope. On ſeroit tenté, en la conſidérant à la vue ſimple, de la regarder comme un plexus tout-à-fait irrégulier de filaments; mais le microſcope nous apprend que ce n'eſt autre choſe qu'une petite forêt de plantes, qui prennent leur nourriture ſur le fond humide, & tendant à ſa décompoſition, qui leur ſert de baſe. On diſtingue leurs tiges, & ſur quelques-unes leurs boutons, les uns fermés, les autres épanouis. M. le baron de Munchauſen a fait plus: en conſidérant avec la plus grande attention ces plantules, il a reconnu qu'elles ſont fort analogues aux champignons. Ce ne ſont enfin que des champignons microſcopiques, dont le chapiteau, parvenu à ſa maturité, jette une pouſſiere comme infiniment tenue, qui eſt ſa ſemence. Cette ſemence, tombant dans les endroits propres à la recevoir, y germe à ſon tour, & produit des plantes ſemblables, qui parviennent à leur grandeur dans fort peu de temps, & jettent elles-mêmes leur ſemence. On ſçait que les champignons prennent leur accroiſſement dans une nuit: ceux dont nous parlons, plus rapides preſque en raiſon inverſe de leur grandeur, prennent leur accroiſſement en peu d'heures. De-là la rapidité avec laquelle la moiſiſſure fait ſes progrès.

Voici encore une obſervation fort curieuſe de ce genre, faite par M. Ahlefeld de Gieſſen. Ayant remarqué des pierres couvertes d'une ſorte de

pouſſiere, il eut la curioſité d'examiner au microſcope ce que c'étoit. Il trouva, à ſon grand étonnement, que c'étoient de petits champignons microſcopiques, élevés ſur des pédicules fort courts, & dont la tête, arrondie au milieu, étoit retrouſſée ſur les bords : ils étoient auſſi ſtriés du centre à la circonférence, comme le ſont certains champignons. Il remarqua encore qu'ils contenoient au deſſus de leur enveloppe ſupérieure une multitude de petits grains ſemblables à des ceriſes un peu applaties. C'étoient probablement les ſemences de ces champignons. Il vit enfin dans cette forêt de petits champignons, pluſieurs petits inſectes rouges, qui ſans doute s'en nourriſſoient. *Voyez* les Actes de Leipſik, année 1739.

## §. XIII.

### *La Pouſſiere du Lycoperdon.*

Le lycoperdon, ou veſſe de loup, eſt une plante de la claſſe des fungus, qui croît ſous la forme d'un gros tubercule chagriné. Si on le preſſe avec le pied, il éclate en jetant une pouſſiere extrêmement déliée, & qui reſſemble à une fumée. Il en reſte ordinairement une aſſez grande quantité dans la cavité entr'ouverte de la plante. Si on la met ſur le porte-objet du microſcope, on la voit ſous la forme de globules parfaitement ſphériques, de couleur orangée, & dont le diametre n'eſt guere que la 50$^{e}$ partie de celui d'un cheveu ; enſorte que chaque grain de cette pouſſiere n'eſt guere que la 125000$^{e}$ partie d'un globule qui auroit un diametre égal à un cheveu. Quelques lycoperdons donnent des ſphérules plus brunes, & attachées à un petit pédicule. Cette pouſſiere eſt ſans doute la ſemence de cette plante anomale.

## §. XIV.

*De la Pouſſiere des étamines des Fleurs.*

Il n'y a pas encore long-temps qu'on a reconnu l'utilité de cette pouſſiere dans l'économie végétale. L'on croyoit auparavant qu'elle n'étoit qu'un excrément des ſucs de la fleur ; mais le microſcope a fait découvrir que cette pouſſiere étoit régulièrement & uniformément organiſée dans chaque eſpece de fleur. Ainſi, dans la mauve, chaque grain eſt une balle opaque, hériſſée de pointes. La pouſſiere de la tulipe & de la plupart des liliacées, (ou plantes de la famille des lis), eſt reſſemblante à la ſemence des concombres & melons. Celle du pavot reſſemble à un grain d'orge, avec une rainure dans ſa longueur.

Mais l'obſervation a appris de plus, que cette pouſſiere n'eſt elle-même qu'une capſule qui en contient une autre incomparablement plus menue ; & c'eſt celle-ci qui eſt la vraie pouſſiere fécondante des plantes.

## §. XV.

*Les Trous apparents de quelques feuilles de Plantes.*

Il y a certaines plantes dont les feuilles paroiſſent percées d'une multitude de petits trous ; telle eſt, en particulier, celle que les botaniſtes appellent *hypericum*, ou qu'on nomme vulgairement le *millepertuis :* mais ſi l'on expoſe un fragment de feuille de cette plante au microſcope, on apperçoit que ce qu'on avoit pris pour des trous n'en eſt point ; que ces trous prétendus ſont des véſicules engagées dans l'épaiſſeur de la feuille, recouvertes d'une membrane extrêmement déliée ;

enfin, qu'elles ſont le réſervoir de l'huile eſſentielle & odorante qui eſt particuliere à cette plante.

## §. XVI.

### *Le Duvet des Plantes.*

C'eſt un curieux ſpectacle que celui que préſentent les plantes qui ont du duvet, comme les bourraches, les orties, &c. Lorſqu'on les regarde au microſcope, on les voit hériſſées d'épines à faire horreur. Celles de la bourrache ſont pour la plupart coudées; &, quoique réellement très-près, on les voit au microſcope aſſez éloignées les unes des autres. Si l'on n'étoit pas prévenu, l'on croiroit voir la peau d'un porc-épic.

## §. XVII.

### *Des Etincelles qu'on tire d'un fuſil d'acier avec une pierre.*

Si, avec une pierre à fuſil, on tire des étincelles d'un morceau d'acier, & qu'on les faſſe tomber ſur un papier, on trouvera que ce ſont pour la plupart des globules formés de petites parties d'acier détachées par le choc, & fondues par le frottement. M. Hook en a obſervé qui étoient parfaitement polies, & réfléchiſſoient avec vivacité l'image de la fenêtre voiſine. Lorſqu'elles ſont dans cet état, elles ſont attirables à l'aimant; mais très-fréquemment elles ſont réduites par la fuſion en une eſpece de ſcorie, & alors l'aimant ne les attire plus. On en dira ailleurs la cauſe. On ne ſera au reſte point ſurpris de cette fuſion, quand on ſçaura que les corps les plus difficiles à liqué-

fier, n'ont beſoin pour cela que d'être réduits en particules aſſez minces

## §. XVIII.

*Les aſpérités des corps qui paroiſſent les plus polis & les plus tranchants.*

Expoſez au microſcope l'aiguille la plus pointue en apparence; elle vous paroîtra n'avoir qu'une pointe émouſſée, inégale & irréguliere, dont la forme reſſemble à celle d'une cheville rompue par le bout.

Il en eſt de même du tranchant d'un raſoir le mieux affilé. Ce tranchant, vu au microſcope, reſſemble au dos d'un canif, & préſente de diſtance en diſtance des dentelures comme une ſcie, mais irrégulieres.

Si l'on conſidere enfin avec le microſcope la ſurface d'un verre poli avec ſoin, on ſera fort étonné du ſpectacle que préſentera cette ſurface: on la verra toute ſillonnée, & remplie d'aſpérités qui réfléchiſſent la lumiere irréguliérement, en la colorant. Il en eſt de même de l'acier poli avec le plus de ſoin.

L'art eſt à cet égard bien au deſſous de la nature; car ſi les ouvrages que cette derniere a en quelque ſorte travaillés & polis, ſont expoſés au microſcope, ils n'y perdent point leur poli; il n'en paroîtra même que plus éclatant. Lorſqu'on conſidere avec cet inſtrument les yeux d'une mouche, s'ils ſont éclairés d'un flambeau, chacun d'eux en préſente l'image avec une netteté & une vivacité dont rien n'approche.

## §. XIX.

*Des Sables vus au Microſcope.*

Il y a, comme l'on ſçait, des ſables calcaires, il y en a de vitrifiables. Les premiers, vus au microſcope, reſſemblent en grande partie à de gros morceaux irréguliers de pierre; mais les vitreux préſentent le ſpectacle le plus curieux. Lorſque ce ſont des ſables roulés, on apperçoit comme autant de diamants bruts, & quelquefois polis. Il y a un certain ſable qui, vu au microſcope, paroît être un aſſemblage de diamants, de rubis, d'émeraudes: un autre, conſidéré de la même maniere, fait voir des embrions preſque infiniment petits de coquillages.

## §. XX.

*Les Pores du Charbon.*

M. Hook a eu la curioſité d'examiner avec un microſcope la contexture d'un charbon: il l'a trouvé tout criblé de pores diſpoſés par ordre, & traverſant toute ſa longueur, enſorte qu'il n'y a point de charbon le long duquel l'air ne s'introduiſe. Cet obſervateur a compté dans la 18$^{e}$ partie d'un pouce, 150 de ces pores; d'où il ſuit que, dans un charbon d'un pouce de diametre, il y en a environ 5720000.

Nous n'avons pu & nous n'avons dû donner ici qu'un précis très-abrégé de cette matiere; mais, pour ſuppléer à ce que nous n'avons pu dire, nous allons indiquer les principaux livres qui contiennent des obſervations micrographiques, & les auteurs qui ſe ſont principalement adonnés à ce genre d'obſervations. Tel eſt d'abord le pere

Bonanni, Jéſuite, auteur du livre intitulé, *Ricreazione dell'ochio è della mente*, dont une partie roule uniquement ſur cet objet. Le célebre Lewenhoek a paſſé preſque toute ſa vie dans la même occupation, & a expoſé ſes obſervations dans ſes *Arcana Naturæ*. Le fameux Hook a donné un ouvrage très-curieux ſur le même ſujet, intitulé *Micrographia*. On trouve dans tous les journaux & mémoires de ſociétés ſçavantes, nombre d'obſervations de ce genre, éparſes de côtés & d'autres. Mais perſonne n'a fait ſur cette matiere autant d'obſervations ſuivies que M. Joblot, de qui nous avons un volume in-4°, intitulé *Deſcription & uſages de pluſieurs nouveaux Microſcopes, &c. avec de nouv. obſervat. ſur une multitude innombrable d'Inſectes, &c. qui naiſſent dans les liqueurs, &c.* (Paris, 1716). Il a fait infuſer dans l'eau une multitude de ſubſtances différentes, & a fait graver les figures des petits animaux qui y ont pris naiſſance; il a même donné à la plupart, des noms tirés de leur reſſemblance avec des corps connus, ou d'autres circonſtances. Mais nous nous bornons à renvoyer le lecteur à cet ouvrage, qui a reparu en 1754 fort augmenté, & ſous ce titre: *Obſervations d'Hiſtoire Naturelle, faites avec le Microſcope ſur un grand nombre d'Inſectes, & ſur les Animalcules qui ſe trouvent dans les liqueurs préparées & non préparées*, &c; in-4°, avec une multitude de planches (*a*). M. Needham donna en 1750 ſon ouvrage intitulé, *Nouvelles Obſervations microſcopiques*. On lit dans l'*Hiſtoire Naturelle* de M. de Buffon, ſes obſervations propres ſur les molécules

(*a*) Cet ouvrage, qui eſt très-curieux, ſe trouve à Paris, chez Jombert, rue Dauphine.

ou prétendus animaux de la ſemence des animaux. On a encore l'ouvrage de Baker, intitulé, *Traité du Microſcope*, ou *le Microſcope à la portée de tout le monde*, traduit de l'anglois; in-8°, Paris, 1754. La premiere partie de l'ouvrage contient les deſcriptions de l'*apparatus*, & de l'uſage de divers microſcopes; & la ſeconde, un aſſez long détail des obſervations microſcopiques faites ſur les divers objets de la nature. Cet ouvrage a eu un grand ſuccès en Angleterre, & eſt ſinguliérement inſtructif ſur cette matiere. M. l'abbé Spalanzani a fait enfin imprimer en italien ſes obſervations microſcopiques, où il contredit pluſieurs fois M. Needham: on en a une traduction françoiſe, imprimée à Paris, (1769, in-8°), qui a pour titre, *Nouvelles Obſervations Microſcopiques*, avec des notes de ce dernier phyſicien. Ajoutez à cela divers Mémoires imprimés dans le *Journal de Phyſique* de M. l'abbé Rozier, dont les auteurs ſont MM. Fontana, Roffredi, Spalanzani, &c. & vous aurez à peu près la connoiſſance de tous les écrits qui ont paru juſqu'à ce moment ſur cette matiere, ou du moins des principaux d'entr'eux.

# RÉCRÉATIONS
# *MATHÉMATIQUES*
## ET
# *PHYSIQUES.*

## CINQUIEME PARTIE,

*CONTENANT ce qu'il y a de plus curieux dans l'Acouſtique & la Muſique.*

LES anciens ne paroiſſent pas avoir conſidéré les ſons ſous un autre point de vue que celui de la muſique, c'eſt-à-dire comme affectant agréablement l'oreille ; il eſt même fort douteux qu'ils aient connu quelque choſe de plus que la mélodie, & qu'ils aient eu rien de ſemblable à cet art que nous appellons la *compoſition*. Mais les modernes ayant conſidéré les ſons du côté purement phyſique, & ayant fait dans ce champ négligé par les anciens pluſieurs découvertes, il en eſt né une ſcience toute nouvelle, à laquelle on a donné le

nom d'*acouſtique*. L'acouſtique eſt donc la ſcience des ſons conſidérés en général ſous des vues mathématiques & phyſiques ; & elle comprend ſous elle la *muſique*, qui conſidere les rapports des ſons entant qu'agréables au ſens de l'ouïe, ſoit par leur ſucceſſion, ce qui conſtitue la *mélodie*; ſoit par leur ſimultanéité, ce qui forme l'*harmonie*. Nous allons rapporter briévement ce qu'il y a de plus curieux & de plus intéreſſant ſur cette ſcience.

## ARTICLE PREMIER.

*En quoi conſiſte le ſon: comment il ſe répand & ſe tranſmet à notre organe: expériences relatives à cet objet: des diverſes manieres de produire le ſon.*

LE ſon n'eſt autre choſe que le frémiſſement des parties de l'air, occaſionné ou par la commotion ſubite d'une maſſe quelconque d'air tout-à-coup reſſerrée ou dilatée, ou par la communication de l'ébranlement des parties inſenſibles d'un corps dur & élaſtique.

Telles ſont les deux manieres les plus connues de produire du ſon. L'exploſion d'un coup de piſtolet ou d'arme à feu, produit du bruit ou du ſon, parceque l'air ou le fluide élaſtique contenu dans la poudre étant tout-à-coup dilaté, & frappant avec violence l'air extérieur & voiſin, le condenſe ſubitement au-delà de ſon état naturel de condenſation cauſée par le poids de l'atmoſphere. Cette maſſe, en vertu de ſon reſſort, ſe reſtitue l'inſtant après, & comprime à ſon tour l'air dont

elle eſt environnée, & celui-ci en fait de même; & ainſi ſucceſſivement de loin en loin: d'où réſulte dans toutes les parties de l'air, juſqu'à une certaine diſtance, un mouvement d'oſcillation dans lequel conſiſte le ſon.

Pour s'en former une idée, qu'on conçoive une file de reſſorts ſe ſoutenant tous en équilibre; que le premier ſoit tout-à-coup comprimé violemment par un choc ou autrement: en faiſant effort pour ſe reſtituer, il comprimera celui qui ſuit, celui-ci comprimera le troiſieme, & ainſi de ſuite juſqu'au dernier, ou au moins juſqu'à une très-grande diſtance, car le ſecond ſera un peu moins comprimé que le premier, le troiſieme un peu moins que le ſecond, &c; enſorte qu'à une diſtance plus ou moins grande, la compreſſion ſera preſque nulle, & enfin nulle. Mais chacun de ces reſſorts, en ſe rétabliſſant, paſſera un peu le point d'équilibre; ce qui occaſionnera dans toute la file miſe en mouvement, une vibration qui durera plus ou moins long-temps, & ceſſera enfin. De-là vient qu'aucun ſon n'eſt inſtantanée, mais dure toujours plus ou moins, ſuivant les circonſtances.

L'autre maniere de former du ſon, conſiſte à produire dans un corps élaſtique, des vibrations aſſez promptes pour exciter dans les parties de l'air qui l'avoiſinent un mouvement ſemblable. C'eſt ainſi qu'une corde tendue rend un ſon quand on la pince: il ne faut qu'avoir des yeux pour appercevoir ſes allées & venues. Les parties élaſtiques de l'air, frappées par cette corde dans ſes vibrations, ſont miſes elles-mêmes en vibration, & communiquent ce mouvement à leurs voiſines, &c. Tel eſt encore le mécaniſme par lequel une cloche produit du ſon: lorſqu'on la frappe, ſes

vibrations ſont ſenſibles à la main de celui qui la touche.

Si l'on doutoit des faits ci-deſſus, voici quelques expériences qui les mettent dans un nouveau jour.

### PREMIERE EXPÉRIENCE.

Rempliſſez à moitié d'eau un vaſe, comme un verre à boire, &, après l'avoir affermi, paſſez ſur le bord votre doigt un peu mouillé : vous en tirerez un ſon, & vous verrez en même temps l'eau frémir, & former des ondulations, juſqu'à faire réjaillir de petites gouttes. Qui peut produire dans l'eau un pareil mouvement, ſinon les vibrations des parties du verre ?

### SECONDE EXPÉRIENCE.

Si l'on renferme ſous le récipient d'une machine pneumatique, une cloche qui ne touche à aucune partie de la machine, & qu'on en pompe l'air : lorſqu'on fera ſonner cette cloche, on ſentira qu'à meſure que l'air eſt évacué & devient plus rare, le ſon s'affoiblit, au point de ne plus rien entendre quand le vuide eſt auſſi parfait qu'il eſt poſſible. Qu'on rende l'air peu à peu, le ſon renaîtra, pour ainſi dire, & augmentera à meſure que l'air contenu dans la machine approchera de la conſtitution de celui de l'atmoſphere.

De ces deux expériences il réſulte que le ſon, conſidéré dans les corps ſonores, n'eſt autre choſe que les vibrations ſuffiſamment promptes de leurs parties inſenſibles ; que l'air en eſt le véhicule, & qu'il le tranſmet d'autant mieux, que, par ſa den-

ſité, il eſt plus capable de recevoir lui-même dans ſes parties un mouvement ſemblable.

A l'égard de la maniere dont le ſon affecte notre ame, on doit ſçavoir qu'à l'entrée de l'oreille interne, qui contient les différentes parties de l'organe de l'ouïe, eſt une membrane tendue comme celle d'un tambour, à laquelle on donne auſſi le nom de *tympan de l'oreille*. Il eſt fort probable que les vibrations de l'air, produites par le corps ſonore, en excitent dans cette membrane; que celles-ci en produiſent de ſemblables dans l'air dont la cavité de l'oreille interne eſt remplie, & que le retentiſſement y eſt augmenté par la conſtruction particuliere & les circonvolutions tant des canaux demi-circulaires que du limaçon; ce qui occaſionne enfin dans les nerfs dont ce limaçon eſt tapiſſé, un mouvement qui ſe tranſmet au cerveau, & par lequel l'ame reçoit la perception du ſon. Il faut s'arrêter ici, car il n'eſt pas poſſible de ſçavoir comment le mouvement des nerfs peut affecter l'ame : mais il nous ſuffit de ſçavoir par l'expérience, que les nerfs ſont, pour ainſi dire, les médiateurs entre cette ſubſtance qui forme notre ame, & les objets extérieurs & ſenſibles.

Le ſon ne tarde pas à ceſſer, dès que les vibrations du corps ſonore ceſſent ou deviennent trop foibles. C'eſt ce que l'expérience montre encore; car lorſque, par le contact d'un corps mou, on amortit ces vibrations dans le corps ſonore, le ſon ſemble ceſſer tout-à-coup. C'eſt pour cela que, dans la conſtruction d'un claveſſin, les ſautereaux ſont garnis d'un morceau de drap, afin qu'en retombant il touche la corde, & amortiſſe ſes vibrations. Au contraire, lorſque le corps ſo-

nore eſt, par ſa nature, en état de continuer ſes vibrations pendant long-temps, comme l'eſt une groſſe cloche, le ſon continue long-temps après le coup: c'eſt ce qu'il n'y a perſonne qui n'ait remarqué, en entendant ſonner une cloche d'une capacité un peu conſidérable.

## ARTICLE II.

### *Sur la viteſſe du ſon : expériences pour la déterminer : maniere de meſurer les diſtances par ce moyen.*

IL n'en eſt pas du ſon comme de la lumiere, qui ſe tranſmet d'un lieu à un autre avec une rapidité inconcevable. La viteſſe du ſon eſt aſſez médiocre, & eſt à peine de 200 toiſes par ſeconde. Voici comment on l'a meſurée.

A l'extrémité d'une diſtance de quelques milliers de toiſes, qu'on tire un coup de canon; qu'un obſervateur, placé à l'autre extrémité avec un pendule à ſecondes, ou, ce qui ſera mieux, avec un pendule à demi-ſecondes, ſoit attentif au moment où il apperçoit le feu, & laiſſe dans le même inſtant échapper ſon pendule; qu'il compte le nombre des ſecondes ou demi-ſecondes écoulées depuis le moment où il a apperçu le feu & lâché ſon pendule, juſqu'au moment où il entend le bruit de l'exploſion: il eſt évident que, ſi l'on regarde le moment où il a apperçu le feu comme le moment de l'exploſion, il n'aura qu'à diviſer par le nombre des ſecondes ou des demi-ſecondes comptées, celui des toiſes que comprend la diſtance où il eſt du canon, & il aura le nombre

de toiſes parcourues par le ſon en une ſeconde ou une demi-ſeconde.

Or l'on peut prendre le moment où l'on apperçoit le feu, à quelque diſtance que l'on ſoit, pour le vrai moment de l'exploſion; car la viteſſe de la lumiere eſt telle, qu'elle met à peine une ſeconde à parcourir 40 demi diametres de la terre, ou environ 60 mille de nos lieues.

C'eſt par de ſemblables expériences que MM. de l'Académie royale des Sciences ont anciennement trouvé que le ſon parcouroit dans une ſeconde 1172 pieds de Paris. MM. Flamſteed & Halley ont trouvé 1172 pieds anglois, qui ſe réduiſent à 1070 pieds de France. Comme il eſt bien difficile de ſe déterminer entre ces autorités, nous prendrons pour la viteſſe moyenne du ſon la quantité de 1120 pieds de France.

Il eſt à remarquer que, ſuivant les expériences de M. Derham, la température de l'air, quelle qu'elle ſoit, ſeche ou humide, froide, tempérée, ou chaude, ne fait point varier la viteſſe du ſon. Il étoit à portée de voir la lumiere & d'entendre le bruit du canon qu'on tiroit fréquemment à Blacheat, éloigné de 9 à 10 milles, d'Upminſter, lieu de ſa demeure. Quel que fût le temps, pourvu qu'il n'y eût point de vent, il comptoit toujours le même nombre de demi-ſecondes entre le moment où il appercevoit le feu & celui où il entendoit le bruit: mais quand il y avoit du vent qui portoit de l'un à l'autre de ces lieux, ce nombre varioit de 111 juſqu'à 122 ſecondes. On conçoit en effet que le vent tranſportant le fluide mis en vibration du côté de l'obſervateur, elles doivent plutôt l'atteindre que ſi ce fluide étoit en repos, ou mu en ſens contraire.

Quoi qu'en diſe néanmoins M. Derham, nous ne pouvons nous perſuader que la température de l'air ne faſſe rien à la viteſſe du ſon ; car un air plus chaud, & par conſéquent plus raréfié ou plus élaſtique, doit avoir des vibrations plus promptes. Cette obſervation ſeroit à réitérer avec plus de ſoin.

On pourra donc meſurer une diſtance inacceſſible au moyen du ſon. Pour cela, qu'on ſe faſſe un pendule à demi-ſecondes, au moyen d'une balle de plomb d'un demi-pouce de diametre, qu'on ſuſpendra à un fil, de maniere que, du centre de la balle au point de ſuſpenſion, il y ait préciſément 9 pouces 2 lignes du pied-de-roi ; qu'au moment où l'on appercevra la lumiere de l'exploſion d'un canon ou d'un mouſquet, on laiſſe aller ce pendule, & qu'on compte les vibrations juſqu'au moment où l'on entend le bruit : il eſt évident qu'il n'y aura qu'à multiplier par ce nombre celui de 560 pieds, & l'on aura la diſtance où l'on eſt de l'origine du bruit.

On ſuppoſe le temps calme, ou du moins que le vent ne ſoit que tranſverſal. Si le vent ſouffloit du lieu où s'eſt faite l'exploſion vers l'obſervateur, & qu'il fût violent, il faudroit ajouter à la diſtance trouvée autant de fois deux toiſes ou 12 pieds, que l'on aura compté de demi-ſecondes ; & au contraire il faudra les ôter, ſi le vent ſouffle de l'obſervateur vers le lieu où ſe fait le bruit. On ſçait en effet qu'un vent violent fait parcourir à l'air environ 4 toiſes par ſeconde ; ce qui eſt à peu près un 42$^{e}$ de la viteſſe du ſon. Si le vent eſt médiocre, on pourroit ajouter ou ôter un 84$^{e}$ ; & s'il étoit foible, quoique ſenſible, un 168$^{e}$ : mais je crois, du moins dans le dernier cas, cette correction

correction ſuperflue ; car peut-on ſe flatter de ne pas ſe tromper d'un 168e dans la meſure du temps ?

Il ſe préſente chaque jour, dans les rades & ſur les côtes de la mer, l'occaſion de meſurer ainſi des diſtances.

Le moyen qu'on vient de décrire peut ſervir, dans les temps d'orage, à juger de la diſtance où l'on eſt du foyer de l'exploſion. Mais comme on peut n'avoir pas ſous ſa main un pendule pareil à celui que nous avons décrit, on pourra ſe ſervir, au lieu de pendule, des battements de ſon pouls, en obſervant que, lorſqu'il eſt très-tranquille, l'intervalle entre chaque battement équivaut à peu près à une ſeconde ; mais quand le pouls eſt un peu agité & élevé, chaque battement ne vaut guere que deux tiers de ſeconde.

## ARTICLE III.

### *Comment les ſons peuvent ſe répandre dans tous les ſens ſans confuſion.*

C'EST un phénomene aſſez ſingulier, que celui que préſente la tranſmiſſion des ſons ; car, que pluſieurs perſonnes parlent à-la-fois, ou jouent de quelqu'inſtrument, leurs ſons différents ſe font entendre à-la-fois, ou à la même oreille, ou à pluſieurs oreilles différentes, ſans qu'ils ſe confondent en traverſant le même milieu dans des ſens différents, ou qu'ils s'amortiſſent mutuellement. Tâchons de rendre une raiſon ſenſible de ce phénomene.

Cette raiſon réſide ſans doute dans la propriété

des corps élaſtiques. Qu'on conçoive une file de globules à reſſort égaux, & tous appuyés les uns contre les autres ; qu'un globule vienne frapper avec une viteſſe quelconque le premier de la file : on ſçait que, dans un temps très-court, le mouvement ſe tranſmettra à l'autre extrémité, enſorte que le dernier globule en recevra le même mouvement que s'il avoit été choqué immédiatement. Je ſuppoſe maintenant que deux globules vînſſent à-la-fois choquer, avec des viteſſes inégales, les deux extrémités de la file, le globule *a* l'extrémité A, & le globule *b* l'extrémité B ; il eſt certain, par les propriétés connues des corps élaſtiques, que les globules *a* & *b*, après un inſtant de repos, ſeront repouſſés en arriere, en faiſant échange de viteſſe, comme s'ils ſe fuſſent choqués immédiatement.

Pl. 15, fig. 1.

Soit à preſent une ſeconde file de globules, qui coupe la premiere tranſverſalement ; les mouvements de cette ſeconde ſe tranſmettront, au moyen du globule commun, aux deux files ; ils ſe tranſmettront, dis-je, d'un bout à l'autre de cette file, tout comme ſi elle étoit unique, ainſi que dans la premiere : il en ſeroit de même, ſi deux, trois, quatre ou plus de files ſe croiſoient avec la premiere, ou dans le même point, ou dans des points différents. Les mouvements particuliers imprimés au commencement de chaque file, ſe tranſmettroient à l'autre bout, tout comme ſi elle étoit iſolée.

Cette comparaiſon me paroît propre à faire ſentir comment pluſieurs ſons ſe tranſmettent dans tous les ſens, à l'aide du même milieu : il y a cependant quelques petites différences que nous ne devons pas diſſimuler.

Car premiérement on ne doit pas concevoir l'air, qui eſt le véhicule du ſon, comme compoſé de files élaſtiques, diſpoſées auſſi réguliérement que nous l'avons ſuppoſé ; chaque particule de l'air eſt ſans doute appuyée ſur pluſieurs autres à-la-fois, & ſon mouvement ſe communique par-là en tout ſens ; de-là vient auſſi que le ſon, qui parviendroit à une diſtance très-grande, preſque ſans aucune diminution, s'il ſe communiquoit comme on l'a ſuppoſé, en éprouve une conſidérable à meſure qu'il s'éloigne du corps qui le produit. Il y a cependant apparence que, quoique le mouvement par lequel ſe tranſmet le ſon ſoit plus compliqué, il ſe réduit, en derniere analyſe, à quelque choſe de ſemblable à celui qu'on a décrit plus haut.

La ſeconde différence conſiſte, en ce que les particules de l'air, qui affectent immédiatement le ſens de l'ouïe, n'ont pas un mouvement de tranſlation comme le dernier globule de la file, qui part avec une viteſſe plus ou moins grande, à l'occaſion du choc fait à l'autre extrémité de la file : il n'eſt queſtion dans l'air que d'un mouvement de frémiſſement & de vibration, qui, en vertu de l'élaſticité des particules aériennes, ſe tranſmet à l'extrémité de la file, tel qu'il a été reçu à l'autre extrémité. Il faut concevoir que le corps ſonore imprime aux particules de l'air qu'il touche, des vibrations iſochrones à celles qu'il éprouve lui-même ; & ce ſont les mêmes vibrations qui ſe tranſmettent de l'un à l'autre bout de la file, toujours d'ailleurs avec la même viteſſe ; car l'expérience a appris qu'un ſon grave n'emploie pas, toutes choſes d'ailleurs égales, plus de temps qu'un ſon aigu à parcourir un eſpace déterminé.

## ARTICLE IV.

### *Des échos : leur production : hiſtoire des échos les plus célebres : de quelques autres phénomenes analogues.*

RIEN de ſi connu que l'écho. Il faut cependant convenir que, quelque commun que ſoit ce phénomene, la maniere dont il eſt produit ne laiſſe pas d'être encore enveloppée de beaucoup d'obſcurité, & que l'explication qu'on en donne ne rend pas entiérement raiſon de toutes les circonſtances qui l'accompagnent.

Preſque tous les phyſiciens ont attribué la formation de l'écho à une réflexion du ſon, ſemblable à celle qu'éprouve la lumiere quand elle tombe ſur un corps poli ; mais, comme l'a obſervé M. d'Alembert dans l'article *Echo* de l'*Encyclopédie*, cette explication n'eſt pas fondée ; car ſi elle l'étoit, il faudroit, pour la production de l'écho, une ſurface polie ; ce qui n'eſt pas conforme à l'expérience. En effet, on entend chaque jour des échos en face d'un vieux mur qui n'eſt rien moins que poli, d'une maſſe de rocher, d'une forêt, d'un nuage même. Cette réflexion du ſon n'eſt donc point de la même nature que celle de la lumiere.

Il eſt cependant évident que la formation de l'écho ne peut être attribuée qu'à une répercuſſion du ſon ; car un écho ne ſe fait jamais entendre qu'au moyen d'un ou de pluſieurs obſtacles qui interceptent le ſon, & le font rebrouſſer

en arriere. Voici la maniere la plus probable de concevoir comme cela ſe fait.

Nous reprendrons pour cela notre comparaiſon des fibres aériennes, avec une file de globules élaſtiques. Si donc une file de globules élaſtiques eſt infinie, on ſent aiſément que les vibrations imprimées à un bout ſe propageront toujours du même côté, en s'éloignant ſans ceſſe; mais ſi cette file eſt appuyée par une de ſes extrémités, le dernier globule réagira contre toute la file, & lui imprimera en ſens contraire le même mouvement qu'il eût imprimé au reſte de la file, ſi elle n'eût pas été appuyée: cela doit même arriver, ſoit que l'obſtacle ſoit perpendiculaire à la file, ſoit qu'il ſoit oblique, pourvu que le dernier globule ſoit contenu par ſes voiſins: il y aura ſeulement cette différence, que le mouvement rétrograde ſera plus fort dans le premier cas, & d'autant plus fort, que l'obliquité ſera moindre. Si donc les fibres aériennes & ſonores ſont appuyées par une de leurs extrémités, & que l'obſtacle ſoit aſſez éloigné de l'origine du mouvement, pour que le mouvement direct & le mouvement répercuté ne ſe faſſent pas ſentir dans le même inſtant perceptible, l'oreille les diſtinguera l'un de l'autre, & il y aura écho.

Or on ſçait par l'expérience, que l'oreille ne diſtingue point la ſucceſſion de deux ſons, à moins qu'il n'y ait entr'eux un intervalle au moins d'un 12$^{e}$ de ſeconde; car, dans le mouvement le plus rapide de la muſique inſtrumentale, dans lequel on ne ſçauroit, je crois, apprécier chaque meſure à moins d'une ſeconde (1), douze notes

(a) Je penſe qu'une piece de muſique de 60 meſures,

ſeroient tout au plus ce qu'il ſeroit poſſible de comprendre dans une meſure, pour qu'on pût diſtinguer un ſon après l'autre : conſéquemment il faut que l'obſtacle qui répercute le ſon ſoit aſſez éloigné, pour que le ſon répercuté ne ſuccede pas au ſon direct avant un 12e de ſeconde ; & comme le ſon parcourt dans une ſeconde environ 1120 pieds, & conſéquemment environ 93 dans un 12e de ſeconde, il s'enſuit que l'obſtacle ne doit être éloigné tout au plus que de 45 à 50 pieds, pour qu'on puiſſe diſtinguer le ſon répercuté du ſon direct.

Il y a des échos ſimples & des échos compoſés. Dans les premiers, on entend une ſeule répétition du ſon ; dans les autres, on les entend deux, trois, quatre fois, & davantage ; on parle même d'échos où l'on entend le même mot répété juſqu'à 40 & 50 fois. Les échos ſimples ſont ceux où il n'y a qu'un ſeul obſtacle ; car le ſon répercuté en arriere, continuera ſa route dans la même direction, ſans revenir de nouveau ſur ſes pas.

Mais un écho double, triple, quadruple, peut être produit de pluſieurs manieres. Qu'on ſuppoſe, par exemple, pluſieurs murailles les unes derriere les autres, les plus éloignées étant les plus élevées : ſi elles ſont chacune diſpoſées à produire un écho, on entendra autant de répétitions du même ſon qu'il y aura de ces obſtacles.

Pl. 15, fig. 2. L'autre maniere dont peuvent être produites ces répétitions nombreuſes, eſt celle-ci. Quon conçoive deux obſtacles A & B, oppoſés l'un à l'autre, & la cauſe productrice du ſon entre deux, au

---

qui ſeroit exécutée dans une minute, ſeroit d'un mouvement dont il y a peu d'exemples dans la muſique.

point S ; le ſon produit dans la direction de S en A, après être revenu de A en S, ſera répercuté par l'obſtacle B, & reviendra en S ; puis, après avoir parcouru SA, il éprouvera une nouvelle répercuſſion qui le reportera en S ; puis il y reviendra encore en S, après avoir frappé l'obſtacle B ; ce qui continueroit à l'infini, ſi le ſon ne s'affoibliſſoit pas continuellement. D'un autre côté, le ſon ſe produiſant auſſi également de S vers B que de S vers A, il ſera auſſi renvoyé d'abord de B vers S ; puis, après avoir parcouru l'eſpace SA, de A vers S ; enſuite de nouveau de B vers S, après avoir parcouru SB ; & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que le ſon ſoit entiérement amorti.

Ainſi l'on entendra le ſon produit en S, après des temps qui pourront être exprimés par 2SA, 2SB, 2SB+2SA; 4SA+2SB, 4SB+2SA; 4SA+4SB; 6SA+4SB; 6SB+4SA; 6SA+6SB, &c ; ce qui formera une répétition de ſons après des intervalles égaux, lorſque SA ſera égale à SB, & même lorſque SB ſera double de SA : mais lorſque SA ſera, par exemple, le tiers de SB, il y aura cela de remarquable, qu'après la premiere répétition il y aura une eſpece de ſilence double, puis ſuccéderont trois répétitions à intervalles égaux, enſuite il y aura un ſilence double de l'un de ces intervalles, puis trois répétitions à intervalles égaux aux premiers ; & ainſi de ſuite, juſqu'à ce que le ſon ſoit abſolument éteint. Les différents rapports des diſtances SA, SB, feront ainſi naître différentes bizarreries dans la ſucceſſion de ces ſons, que nous avons cru devoir remarquer comme poſſibles, quoique nous ne ſçachions pas qu'on les ait obſervées.

Il y a des échos qui répetent pluſieurs mots de

ſuite les uns après les autres ; cela n'a rien de ſurprenant, & doit arriver toutes les fois que l'on ſera à une diſtance de l'écho, telle que l'on ait le temps de prononcer pluſieurs mots avant que la répétition du premier ſoit parvenue à l'oreille.

Il y a divers échos qui ont acquis une ſorte de célébrité par leur ſingularité, ou par le nombre de fois qu'ils répetent le même mot. Miſſon, dans ſa *Deſcription de l'Italie*, parle d'un écho de la vigne Simonetta, qui répétoit quarante fois le même mot.

A Woodſtock en Angleterre, il y en avoit un qui répétoit le même ſon juſqu'à cinquante fois.

On lit dans les *Tranſactions Philoſophiques*, année 1698, la deſcription d'un écho encore plus ſingulier, qu'on trouve près de Roſneath, à quelques lieues de Glaſcow en Ecoſſe. Un homme, placé de la maniere convenable, joue un morceau d'air de trompette, de 8 à 10 notes; l'écho les répete fidélement, mais une tierce plus bas : après un petit ſilence, on en entend encore une nouvelle répétition ſur un ton plus bas : ſuccede enſuite un nouveau ſilence, qui eſt ſuivi d'une troiſieme répétition des mêmes notes, ſur un ton plus bas d'une tierce.

Un phénomene analogue, eſt celui que préſentent ces chambres où une perſonne, placée dans un endroit, & prononçant à voix baſſe quelques mots, eſt entendue uniquement de celle qui eſt placée à un certain autre endroit déterminé. Muſchembroeck parle d'une pareille chambre, qu'il dit être dans le château de Cleves. Il y a peu de perſonnes qui aient été à l'Obſervatoire royal de Paris, ſans avoir fait la même expérience dans un ſallon du premier étage.

Les phyſiciens s'accordent unanimement à attribuer ce phénomene à la réflexion des rayons ſonores qui, après avoir divergé de la bouche de celui qui parle, ſont réfléchis de maniere à ſe réunir dans un autre point. Or l'on conçoit aiſément, diſent-ils, que cette réunion renforçant le ſon dans ce point, celui qui aura l'oreille placée tout près l'entendra, quoique ceux qui en ſeront éloignés ne puiſſent l'entendre. C'eſt ainſi que les rayons qui partent du foyer d'un miroir elliptique, ſe réuniſſent à l'autre foyer.

Je ne ſçais ſi le ſallon du château de Cleves, dont parle Muſchembroeck, eſt elliptique, & ſi les deux points où doivent ſe placer celui qui parle & celui qui écoute, ſont les deux foyers; mais, à l'égard du ſallon de l'Obſervatoire de Paris, cette explication n'a pas le moindre fondement, car

1° La ſalle de l'écho, ou, comme on l'appelle, *des Secrets*, n'eſt nullement elliptique; c'eſt un octogone ſur ſon plan, & dont les murs, à une certaine hauteur, ſont voûtés de la maniere qu'on appelle en terme de l'art *arc de cloître*, c'eſt-à-dire par des portions de cylindre qui, en ſe rencontrant, forment des angles rentrants, qui continuent ceux qui ſont formés par les côtés de l'octogone qui en eſt le plan.

2° On ne ſe place pas à une diſtance médiocre du mur, comme cela devroit être pour que la voix partît d'un des foyers de l'ellipſe ſuppoſée: on applique la bouche dans un des angles rentrants, & fort près du mur; alors une perſonne qui a l'oreille placée du côté diamétralement oppoſé, & à peu près à même diſtance du mur, en-

tend celui qui lui parle de l'autre côté, même à voix fort baſſe.

Il eſt conſéquemment évident qu'il n'y a ici nulle réflexion de la voix, conformément aux loix de la catoptrique ; mais l'angle rentrant, continué le long de la voûte d'un côté à l'autre du ſallon, fait une ſorte de canal qui contient la voix, & la tranſmet de l'autre côté. Le phénomene rentre abſolument dans la même claſſe que celui d'un tuyau très-long, au bout duquel une perſonne parlant, même à voix baſſe, ſe fait entendre de celui qui eſt à l'autre bout.

Les Mémoires de l'Académie, de 1692, parlent d'un écho très-ſingulier, qui ſe trouve dans une cour d'une maiſon de plaiſance appellée *le Genetay*, à peu de diſtance de Rouen. Il a cela de particulier, que la perſonne qui chante ou parle à voix haute, n'entend point la répétition de l'écho, mais ſeulement ſa voix ; au contraire ceux qui écoutent n'entendent que la répétition de l'écho, mais avec des variations ſurprenantes, car l'écho ſemble tantôt s'approcher, tantôt s'éloigner, & diſparoît enfin à meſure que la perſonne qui parle s'éloigne dans une certaine ligne ; tantôt on n'entend qu'une voix, tantôt on en entend pluſieurs ; l'un entend l'écho à droite, l'autre à gauche. On lit dans le même recueil une explication de tous ces phénomenes, déduite de la forme demi-circulaire de cette cour & de quelques circonſtances ; elle eſt aſſez ſatisfaiſante.

## ARTICLE V.

### *Expériences ſur les vibrations des cordes ſonores, qui ſont la baſe de la Muſique théorique.*

QU'ON prenne une corde de métal ou de boyaux d'animaux, dont on ſe ſert dans les inſtruments de muſique ; qu'on l'attache par une de ſes extrémités ; qu'après l'avoir étendue horizontalement, & l'avoir fait paſſer ſur un arrêt fixe, on ſuſpende à l'autre extrémité un poids quelconque qui la tende : alors, qu'on la pince ou qu'on la mette en vibration, on entendra un ſon, lequel eſt certainement produit par les vibrations réciproques de cette corde.

Raccourciſſez préſentement la partie de la corde que vous mettez en vibration, & réduiſez-la à la moitié ; vous obſerverez, ſi vous avez l'oreille muſicale, que ce nouveau ſon ſera l'octave du premier.

Si la partie vibrante de la corde eſt réduite à ſes deux tiers, le ſon qu'elle rendra ſera la quinte du premier.

Si la longueur de la corde eſt réduite aux trois quarts, elle donnera la quarte du premier ſon.

Lorſqu'elle ſera réduite aux $\frac{4}{5}$, elle donnera la tierce majeure. Réduite aux $\frac{5}{6}$, ce ſera la tierce mineure. Si on la réduit aux $\frac{8}{9}$, elle donnera ce qu'on appelle le ton *majeur ;* aux $\frac{9}{10}$, ce ſera le ton appellé *mineur ;* enfin aux $\frac{15}{16}$, ce ſera le demi-ton, tel que celui qui, dans la gamme muſicale, eſt entre *mi* & *fa*, ou *ſi* & *ut*.

On aura les mêmes réſultats ſi, ayant arrêté fixément & tendu une corde par ſes deux extrémités, on fait couler deſſous un petit chevalet qui en intercepte ſucceſſivement d'un côté la $\frac{1}{2}$, les $\frac{2}{3}$, les $\frac{3}{4}$, &c.

Voilà ce qui réſulte d'un degré déterminé de tenſion, appliqué aux extrémités d'une corde qu'on fait varier de longueur. Imaginons préſentement la longueur de la corde abſolument fixe, & appliquons-lui des degrés de tenſion différents: voici ce que l'expérience a appris à ce ſujet.

Si à une corde d'une longueur déterminée, & fixe par une de ſes extrémités, on append un poids & qu'on examine le ſon qu'elle rend, lorſqu'on aura ſubſtitué à ce premier poids un poids quadruple, le ſon qu'elle rendra ſera à l'octave; ſi le poids eſt neuf fois le premier, le nouveau ſon ſera à l'octave de la quinte; ſi ce nouveau poids eſt le quart ſeulement du premier, le ſon nouveau ſera l'octave au deſſous. Il n'en faut pas davantage pour ſe démontrer que ce qu'on produit en réduiſant ſucceſſivement une corde à ſa moitié, ſes $\frac{2}{3}$, ſes $\frac{3}{4}$, &c. on le produira également en la chargeant ſucceſſivement de poids qui ſoient comme 4, $\frac{9}{4}$, $\frac{16}{9}$, &c; c'eſt-à-dire qu'il faut que les quarrés des poids ou des tenſions, ſoient réciproquement comme les quarrés des longueurs propres à donner les mêmes tons.

On raconte à ce ſujet comment Pythagore fut conduit à cette découverte. Ce philoſophe ſe promenant, dit-on, un jour, entendit ſortir de la boutique d'un forgeron des ſons harmonieux, produits par les marteaux dont ils frappoient l'enclume: il entra dans l'attelier, & peſa les marteaux qui formoient ces ſons. Il trouva que celui

qui donnoit l'octave, étoit préciſément la moitié de celui qui donnoit le ton le plus bas ; que celui qui donnoit la quinte, en étoit les deux tiers ; & enfin que celui qui produiſoit la tierce majeure, en étoit les quatre cinquiemes. Rentré chez lui, il médita ce phénomene ; il tendit une corde, qu'il raccourcit ſucceſſivement à ſa moitié, à ſes deux tiers, à ſes quatre cinquiemes, & il vit qu'elle rendoit des ſons qui étoient l'octave, la quinte & la tierce majeure du ſon rendu par la corde dans ſa longueur. Il ſuſpendit auſſi des poids à la même corde ; & il trouva que ceux qui donnoient l'octave, la quinte & la tierce majeure, devoient être reſpectivement comme 4, $\frac{9}{4}$, $\frac{16}{25}$, de celui qui donnoit le ſon principal, c'eſt-à-dire en raiſon inverſe des quarrés de $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{4}{5}$.

Quoi qu'il en ſoit de ce conte, qu'on apprécie équitablement dans l'*Hiſtoire des Mathématiques*, tels furent les premiers faits qui mirent les mathématiciens à portée de ſoumettre les accords au calcul. Voici ce que les modernes y ont ajouté.

On démontre aujourd'hui, par les principes de la mécanique,

1° Qu'une corde de groſſeur uniforme, reſtant tendue par le même poids, & étant allongée ou raccourcie, la viteſſe des vibrations qu'elle fera dans ces deux états, ſera en raiſon inverſe des longueurs. Si donc on réduit cette corde à la moitié de ſa longueur, ſes vibrations auront une viteſſe double, & elle fera deux vibrations pendant que l'autre en auroit fait une : réduiſez-la aux deux tiers, elle fera trois vibrations quand la premiere en eût achevé deux. Ainſi, toutes les fois que deux cordes feront dans le même temps, l'une deux vibrations, l'autre une, elles rendront des

ſons qui ſeront à l'octave : ils ſeront à la quinte, lorſque trois vibrations de l'une s'acheveront en même temps que deux de l'autre, &c.

2° La viteſſe des vibrations que fait une corde de longueur déterminée, & tendue de différents poids, eſt comme la racine quarrée des poids qui la tendent : ainſi des poids quadruples produiront une viteſſe double, & conſéquemment, dans le même temps, un nombre double de vibrations ; un poids noncuple produira des vibrations triples en viteſſe, ou un nombre triple dans le même temps.

3° Si deux cordes different à-la-fois de longueur & de maſſe, & ſont en outre tendues par des poids différents, les viteſſes des vibrations qu'elles feront, ſeront comme les racines quarrées des poids tendants, diviſés par les longueurs & les maſſes, ou les poids des cordes : ainſi, que la corde A, tendue par un poids de 6 livres, peſe 6 grains, & ait un pied de longueur, tandis que la corde B, tendue par un poids de 10 livres, peſe 5 grains, & a un demi-pied de longueur ; la viteſſe des vibrations de la premiere ſera à celle des vibrations de la ſeconde, comme la racine quarrée de $6 \times 6 \times 1$, à celle de $5 \times 10 \times \frac{1}{2}$, c'eſt-à-dire, comme la racine quarrée de 36 ou 6, à celle de 25 ou à 5 : ainſi la premiere fera 6 vibrations, quand la ſeconde en fera 5.

De ces découvertes combinées, il réſulte que l'*acuité* ou la gravité des ſons, eſt uniquement l'effet de la plus ou moins grande fréquence des vibrations de la corde qui les produit ; car, puiſque d'un côté on ſçait par l'expérience, qu'une corde raccourcie, & éprouvant le même degré de tenſion, rend un ton plus élevé, & que d'un autre on

ſçait, & par l'expérience & par la théorie, qu'elle fait des vibrations d'autant plus fréquentes qu'elle eſt plus courte, il eſt évident que ce n'eſt que cette plus grande fréquence de vibrations qui peut produire l'effet de hauſſer le ton.

Il réſulte auſſi de-là, qu'un nombre double de vibrations, produit l'octave du ton que donne le nombre ſimple; qu'un nombre triple produit l'octave de la quinte; un nombre quadruple, la double octave; le nombre quintuple, la tierce majeure au deſſus de la double octave, &c: & ſi nous deſcendons à des rapports moins ſimples, trois vibrations contre deux, produiront l'accord de quinte; quatre contre trois, celui de quarte, &c.

On peut donc indifféremment exprimer les rapports des tons, ſoit par les longueurs des cordes également tendues qui les produiſent, ſoit par le rapport des nombres de vibrations que forment ces cordes: ainſi, le ſon principal étant déſigné par 1, l'on exprime mathématiquement l'octave ſupérieure par $\frac{1}{2}$ ou par 2, la quinte par $\frac{2}{3}$ ou par $\frac{3}{2}$, la tierce majeure par $\frac{4}{5}$ ou $\frac{5}{4}$, &c. Dans le premier cas, ce ſont les longueurs reſpectives des cordes; dans le ſecond, ce ſont les nombres reſpectifs de vibrations. Les réſultats ſeront les mêmes, en s'aſtreignant dans le calcul au même ſyſtême de dénomination.

## PROBLÊME.

*Déterminer le nombre de vibrations que fait une corde de longueur & de groſſeur données, & tendue par un poids donné;* ou bien, *quel eſt le nombre de vibrations qui forme un ton aſſigné?*

On n'a conſidéré juſqu'ici que les rapports des nombres de vibrations que font les cordes qui

donnent les différents accords ; mais un problême plus curieux & bien plus difficile, eſt celui de trouver le nombre réel de vibrations que forme une corde qui donne un certain ton déterminé ; car il eſt aiſé de ſentir que leur viteſſe ne permet rien moins que de les compter : la géométrie, aidée de la mécanique, eſt pourtant venue à bout de cette détermination. Voici la regle.

*Diviſez le poids qui tend la corde par celui de la corde même ; multipliez le quotient par la longueur du pendule à ſecondes, qui eſt à Paris de 3 pouces 8 lignes $\frac{1}{2}$ ou de 440 lignes $\frac{1}{2}$, & diviſez le produit par la longueur de la corde depuis le point fixe juſqu'au chevalet ; tirez la racine quarrée de ce nouveau quotient, & multipliez-la par la raiſon de la circonférence au diametre, ou par la fraction $\frac{355}{113}$ : le produit ſera le nombre de vibrations que fera cette corde dans la durée d'une ſeconde.*

Soit, par exemple, une corde d'un pied & demi, & peſant 6 grains, tendue par un poids de 3 livres ou 27648 grains ; le quotient de 27648 diviſé par 6, eſt 4608 : la longueur du pendule à ſecondes étant de $440\frac{1}{2}$, le produit de ce nombre par 4608 eſt 2029824, que vous diviſerez par 216, nombre de lignes que contient un pied & demi ; le quotient eſt $9397\frac{1}{3}$, dont la racine quarrée ſera $96\frac{9}{10}$ : ce nombre, multiplié par $\frac{355}{113}$, donne $304\frac{4}{10}$ ; c'eſt le nombre des vibrations que fait la corde ci-deſſus dans l'eſpace d'une ſeconde.

On peut voir dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences*, (ann. 1700), une maniere fort ingénieuſe, que M. Sauveur avoit imaginée pour trouver ce nombre de vibrations. Il avoit remarqué que, lorſque deux tuyaux d'orgue fort bas, & accordés à des tons fort voiſins, jouent enſemble, on

on entend une ſuite de battements ou de ronflements de ſons. Réfléchiſſant ſur la cauſe de cet effet, il reconnut que ces battements proviennent de la rencontre périodique des vibrations coïncidentes des deux tuyaux; d'où il conclut que ſi, avec un pendule à ſecondes, on meſure le nombre de ces battements pendant une ſeconde, qu'on connoiſſe d'ailleurs, par la nature de l'accord des deux tuyaux, le rapport des nombres de vibrations qu'ils doivent faire pendant le même temps, on pourra trouver le nombre réel de vibrations qu'ils font l'un & l'autre.

Soient, par exemple, deux tuyaux accordés exactement, l'un au *mi bémol*, & l'autre au *mi*; on ſçait que l'intervalle de ces deux tons étant un demi-ton mineur, exprimé par le rapport de 24 à 25, le tuyau le plus haut fera 25 vibrations pendant que le plus grave en fera 24; enſorte qu'à chaque 25$^{e}$ vibration du premier, ou 24$^{e}$ du ſecond, il y aura un battement. Si donc on obſerve dix battements dans une ſeconde, on en devra conclure que 24 vibrations de l'un & 25 de l'autre ſe font dans un dixieme de ſeconde, & conſéquemment que l'un fait 240 & l'autre 250 vibrations dans l'eſpace d'une ſeconde.

M. Sauveur a fait des expériences conſéquentes à cette idée, & dit avoir trouvé qu'un tuyau d'orgue d'environ 5 pieds, ouvert, fait 100 vibrations par ſeconde; conſéquemment un de 40 pieds, qui donne la triple octave en deſſous & le plus bas ſon perceptible à l'oreille, n'en feroit que 12 $\frac{1}{2}$: au contraire, le tuyau d'un pouce moins $\frac{1}{16}$ étant le plus court dont on puiſſe diſtinguer le ſon, le nombre de ſes vibrations dans une ſeconde ſera de 6400. Les limites des vibrations

les plus lentes & les plus promptes, qui faſſent des ſons appréciables à l'oreille, ſont donc, ſuivant M. Sauveur, $12\frac{1}{2}$ & 6400.

Nous ne prolongerons pas davantage ces détails: nous paſſons à un phénomene très-curieux des cordes miſes en vibration.

Qu'on ait une corde fixément attachée par ſes extrémités, & qu'on place au deſſous un chevalet qui la diviſe en parties aliquotes, par exemple trois d'un côté & une de l'autre; qu'on mette la plus grande, c'eſt-à-dire les $\frac{3}{4}$, en vibration: alors, ſi le chevalet intercepte abſolument la communication de l'une & de l'autre partie, ces $\frac{3}{4}$ de la corde ſonneront, comme tout le monde ſçait, la quarte de la corde entiere: ſi ce ſont les $\frac{4}{5}$, ce ſera la tierce majeure.

Mais que cet arrêt empêche ſeulement la corde de vibrer dans ſa totalité, ſans intercepter la communication du mouvement entre les deux parties; alors la plus grande ne rend plus que le même ſon que rend la petite: les trois quarts de la corde, qui, dans le cas précédent, donnoient la quarte de la toute, n'en donnent plus que la double octave, qui eſt le ſon propre au quart de la corde. Il en eſt de même ſi on touche ce quart; ſes vibrations, en ſe communiquant aux trois autres quarts, les feront ſonner, mais de maniere à ne donner que cette double octave.

On rend de ce phénomene une raiſon que l'expérience rend ſenſible. Lorſque l'arrêt intercepte abſolument la communication des vibrations entre les deux parties de la corde, la plus grande portion fait ſes vibrations dans ſa totalité; & ſi elle eſt les trois quarts de la corde entiere, elle fait, conformément à la regle générale, 4 vibrations

quand la corde entiere en feroit 3 : ainſi le ſon eſt à la quarte de celui de la corde totale.

Mais, dans le ſecond cas, la grande partie de la corde ſe diviſe en autant de portions qu'elle contient la plus petite ; dans l'exemple propoſé, en trois ; & chacune de ces portions, ainſi que la quatrieme, font leurs vibrations à part : il s'établit aux points de diviſion, comme B, C, D, des points fixes, entre leſquels les parties de la corde AB, BC, CD, DE, vibrent en formant des ventres alternativement en ſens contraire, comme ſi ces parties étoient uniques, & invariablement fixées par leurs extrémités. Pl. 15, fig. 3.

Cette explication eſt un fait que M. Sauveur a rendu ſenſible aux yeux, en préſence de l'Académie royale des Sciences. (*Hiſt. de l'Acad.*, année 1700.) On plaçoit ſur les points C & D, de petits morceaux de papier pliés ; alors, en mettant en vibration la petite partie de la corde AB, les vibrations ſe communiquant à la partie reſtante BE, on voyoit avec étonnement les petits morceaux de papier, portés par les points C & D, reſter immobiles, tandis que ceux poſés par-tout ailleurs étoient jetés à bas.

Si la partie AB de la corde, au lieu d'être préciſément une partie aliquote du reſtant BE, en étoit, par exemple, les $\frac{2}{7}$, alors toute la corde AE ſe partageroit en ſept parties, dont AB en contiendroit deux, & chacune de ces parties vibreroit à part, & ne rendroit que le ſon qui convient à $\frac{1}{7}$ de la corde.

Si les parties AB, BE, étoient incommenſurables, elles ne rendroient qu'un ſon abſolument diſcordant, & qui s'éteindroit auſſi-tôt, à cauſe de l'impoſſibilité qu'il y auroit à ce qu'il s'établît

des ventres & des points de repos, ou nœuds invariables.

## ARTICLE VI.

*Maniere d'ajouter, ſouſtraire les accords entr'eux ; les diviſer, les multiplier, &c.*

LA théorie de la muſique exige qu'on ſçache quels accords réſultent de deux ou pluſieurs accords, ſoit ajoutés, ſoit ſouſtraits les uns des autres : c'eſt pourquoi nous allons en donner les regles.

### PROBLÊME I.

*Ajouter deux accords entr'eux.*

EXPRIMEZ chacun de ces accords par la fraction qui lui eſt propre ; multipliez enſuite ces deux fractions enſemble, c'eſt-à-dire numérateur par numérateur, & dénominateur par dénominateur : le nombre qui en proviendra exprimera l'accord qui réſulte de la ſomme de deux donnés.

#### EXEMPLE PREMIER.

Soient la quinte & la quarte à ajouter enſemble ; l'expreſſion de la quinte eſt $\frac{2}{3}$, celle de la quarte eſt $\frac{3}{4}$ : multipliez $\frac{2}{3}$ par $\frac{3}{4}$ ; le produit eſt $\frac{6}{12}$ ou $\frac{1}{2}$, qui eſt l'expreſſion de l'octave. On ſçait effectivement que l'octave eſt compoſée d'une quinte & d'une quarte.

#### EXEMPLE II.

On demande quel accord réſulte de l'addition de la tierce majeure & de la mineure. L'expreſſion

de la tierce majeure eſt $\frac{4}{5}$, celle de la tierce mineure eſt $\frac{5}{6}$; leur produit eſt $\frac{20}{30}$ ou $\frac{2}{3}$, qui exprime la quinte. Cet accord eſt effectivement compoſé d'une tierce majeure & d'une mineure.

### EXEMPLE III.

*Quel accord produiſent deux tons majeurs ajoutés l'un à l'autre?* On exprime un ton majeur par $\frac{8}{9}$; ainſi, pour ajouter deux tons majeurs, il faut multiplier enſemble $\frac{8}{9}$ par $\frac{8}{9}$; le produit eſt $\frac{64}{81}$: or $\frac{64}{81}$ eſt une fraction moindre que $\frac{64}{80}$ ou $\frac{4}{5}$, qui exprime la tierce majeure; d'où il ſuit que l'accord exprimé par $\frac{64}{81}$ eſt plus grand que la tierce majeure, & conſéquemment que deux tons majeurs font plus qu'une tierce majeure, ou une tierce majeure fauſſe par excès.

On trouve au contraire, en ajoutant deux tons mineurs qui s'expriment par $\frac{9}{10}$, que leur ſomme $\frac{81}{100}$ eſt plus grande que $\frac{80}{100}$ ou $\frac{4}{5}$, qui déſignent la tierce majeure: donc deux tons mineurs font moins qu'une tierce majeure. Cette tierce eſt en effet compoſée d'un ton majeur & d'un ton mineur; ce qu'on trouve en ajoutant les accords $\frac{8}{9}$ & $\frac{9}{10}$, qui font $\frac{72}{90}$, ou $\frac{8}{10}$ ou $\frac{4}{5}$.

Nous pourrions montrer de même, que deux demi-tons majeurs font plus qu'un ton majeur, & deux demi-tons mineurs moins qu'un ton même mineur; qu'enfin un demi-ton majeur & un demi-ton mineur, font préciſément un ton mineur.

## PROBLÊME II.

*Souſtraire un accord d'un autre.*

AU lieu de multiplier enſemble les fractions qui expriment les accords donnés, renverſez celle qui

exprime l'accord à ſouſtraire de l'autre, & multipliez-la dans cet état ; le produit vous donnera la fraction qui exprime l'accord cherché.

### EXEMPLE PREMIER.

*Quel accord réſulte-t-il lorſque de l'octave on ôte la quinte ?* L'expreſſion de l'octave eſt $\frac{1}{2}$, celle de la quinte eſt $\frac{2}{3}$, qui étant renverſée donne $\frac{3}{2}$ ; multipliez $\frac{1}{2}$ par $\frac{3}{2}$, vous aurez $\frac{3}{4}$, expreſſion de la quarte.

### EXEMPLE II.

*On demande la différence du ton majeur au ton mineur.* Le ton majeur s'exprime par $\frac{8}{9}$, & le ton mineur par $\frac{9}{10}$, fraction qui, renverſée, donne $\frac{10}{9}$. Le produit de $\frac{8}{9} \times \frac{10}{9}$ eſt $\frac{80}{81}$ : telle eſt l'expreſſion de l'intervalle dont differe le ton majeur avec le ton mineur. C'eſt ce qu'on appelle le *grand comma.*

## PROBLÊME III.

*Doubler ou multiplier un accord autant de fois qu'on voudra.*

IL n'y a qu'à élever les termes de la fraction qui exprime l'accord donné à la puiſſance déſignée, par le nombre de fois qu'il faut le rendre multiple, au quarré s'il faut le doubler, au cube ſi on demande de le tripler, &c.

Ainſi l'accord qui eſt le triple d'un ton majeur, eſt $\frac{512}{729}$ ; ce qui répond à l'intervalle qu'il y a entre *ut*, & un *fa* plus haut que le *fa* dieſe de la gamme.

## PROBLÊME IV.

*Diviſer un accord par tel nombre qu'on voudra, ou trouver un accord qui ſoit la moitié, le tiers, &c. d'un accord donné.*

POUR cet effet, prenez la fraction qui exprime l'accord, & tirez-en la racine déſignée par le diviſeur déterminé; par exemple, la racine quarrée s'il eſt queſtion de partager l'accord en deux, ou la racine cubique s'il eſt queſtion de le partager en trois, &c: cette racine exprimera l'accord cherché.

### EXEMPLE.

L'octave étant exprimée par $\frac{1}{2}$, ſi on en tire la racine quarrée, elle ſera, à peu de choſe près, $\frac{7}{10}$. Or $\frac{7}{10}$ eſt moins que $\frac{3}{4}$, & plus que $\frac{2}{3}$; conſéquemment le milieu de l'octave eſt entre la quarte & la quinte, & bien près du *fa* dieſe.

---

## ARTICLE VII.

*De la réſonnance du corps ſonore, principe fondamental de l'harmonie & de la mélodie: autres phénomenes harmoniques.*

### PREMIERE EXPÉRIENCE.

ECOUTEZ attentivement le ſon d'une cloche, ſur-tout d'une cloche un peu grave; pour peu que vous ayiez de l'oreille, vous y diſtinguerez aiſément, outre le ſon grave, qui eſt le ſon principal, pluſieurs autres plus aigus: mais ſi vous

avez l'oreille exercée à apprécier des intervalles muſicaux, vous reconnoîtrez que l'un de ces ſons eſt la douzieme ou la quinte au deſſus de l'octave, & un autre la dix-ſeptieme majeure, ou la tierce majeure au deſſus de la double octave; vous y diſtinguerez auſſi, ſi vous avez l'oreille extrêmement délicate, ſon octave, ſa double & même ſa triple octave : on les entend à la vérité un peu plus difficilement, parce que les octaves ſe confondent avec le ſon fondamental, par un effet de ce ſentiment naturel qui nous fait confondre l'octave avec l'uniſſon.

Vous trouverez la même choſe, ſi vous raclez une des plus groſſes cordes d'une viole ou violoncelle, ou d'une trompette marine. Plus enfin vous aurez l'oreille expérimentée en harmonie, plus vous ſerez capable de diſtinguer ces différents ſons, ſoit dans la réſonnance d'une corde, ſoit dans celle de tout autre corps ſonore, même de la voix.

*Autre maniere de faire cette expérience.*

Prenez une pincette ordinaire de cheminée, & ſuſpendez-la ſur une jarretiere de laine ou de coton, ou ſur un cordon quelconque un peu mince, dont vous appliquerez les deux extrémités à vos oreilles. Si quelqu'un frappe alors ſur cette pincette, vous entendrez d'abord un ſon très-fort & très-grave, comme d'une très-groſſe cloche dans le lointain; & ce ſon ſera accompagné d'une multitude d'autres plus aigus, parmi leſquels, lorſqu'ils commenceront à s'éteindre, vous diſtinguerez facilement la douzieme & la dix-ſeptieme du ton le plus bas.

Cette multiplicité de tout ſon ſe confirme par

une autre expérience, que cite M. Rameau dans ſa *Génération harmonique*. Prenez, dit-il, les jeux de l'orgue qu'on appelle *bourdon*, *preſtant* ou *flûte*, *nazard* & *tierce*, & qui forment entr'eux l'octave, la douzieme & la dix-ſeptieme majeure du *bourdon*. Pendant que le ſeul bourdon réſonne, tirez ſucceſſivement chacun des autres jeux; vous entendrez leurs ſons ſe mêler ſucceſſivement les uns aux autres; vous pourrez même les diſtinguer pendant qu'ils ſeront enſemble: mais ſi, pour vous en diſtraire, vous préludez un moment ſur le même clavier, & que vous reveniez à la ſeule touche d'auparavant, vous croirez ne plus entendre qu'un ſeul ſon, celui du bourdon, le plus grave de tous, qui répond au ſon du corps total.

### *REMARQUE.*

CETTE expérience ſur la réſonnance du corps ſonore, n'eſt pas nouvelle: M. Wallis & le pere Merſenne l'ont connue, & en ont parlé dans leurs ouvrages; mais c'étoit pour eux un ſimple phénomene, dont ils étoient bien éloignés de démêler les conſéquences: c'eſt M. Rameau qui le premier en a ſenti l'uſage pour déduire toutes les regles de la compoſition muſicale, juſqu'alors uniquement fondées ſur le ſimple ſentiment, & ſur une expérience incapable de guider dans tous les cas, & de rendre raiſon de tous les effets. C'eſt-là la baſe de ſon ſyſtême de la *baſſe fondamentale*, ſyſtême contre lequel on a beaucoup déclamé dans la nouveauté, & que la plûpart des muſiciens paroiſſent avoir aujourd'hui adopté.

Ainſi tout ſon harmonique eſt multiple, & compoſé des ſons que donneroient les parties aliquotes du corps ſonore $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$: on peut même

ajouter $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{8}$, &c ; mais la foibleſſe de ces ſons, qui vont toujours en diminuant de force, ne permet que difficilement de les diſtinguer. M. Rameau dit néanmoins avoir très-bien diſtingué ſouvent le ſon exprimé par $\frac{1}{7}$, qui eſt la double octave d'un ſon qui partage à peu près en deux parties égales l'intervalle qu'il y a entre le *la* & le *ſi bémol* au deſſous de la premiere octave : il l'appelle un ſon perdu, & l'exclud totalement de l'harmonie. Il ſeroit en effet ſinguliérement diſcordant avec tous les autres ſons donnés par le ſon fondamental.

Remarquons néanmoins que le célebre Tartini n'a pas penſé ſur ce ſon comme l'a fait M. Rameau. Loin de l'appeller un ſon perdu, il prétend qu'on peut l'employer tant dans la mélodie que dans l'harmonie ; il le déſigne par le nom de *ſeptieme conſonnante*. Mais nous laiſſons aux muſiciens le ſoin d'apprécier cette idée de Tartini, dont la célébrité, tant pour la compoſition que pour l'exécution, demandoit une réfutation d'un genre différent de celle qu'on trouve à la fin d'une *Hiſtoire de la Muſique*, imprimée en 1767.

## SECONDE EXPÉRIENCE.

Accordez pluſieurs cordes à l'octave, à la douzieme, à la dix-ſeptieme majeure d'une corde donnée, tant au deſſus qu'au deſſous ; alors, ſi vous faites ſonner cette corde fortement & avec continuité, vous verrez les autres ſe mettre auſſi en vibration ; vous entendrez même ſonner celles qui ſont accordées au deſſus, ſi vous avez l'attention d'éteindre ſubitement par un corps mou le ſon de la premiere.

Il n'eſt perſonne qui n'ait quelquefois entendu

réſonner les verres d'une table au ſon d'une voix vigoureuſe & éclatante. C'eſt une maniere de faire cette expérience.

On entend auſſi quelquefois réſonner les cordes d'un inſtrument qu'on ne touche point, au ſon ſeul de la voix, ſur-tout après des tenues un peu longues & renflées. Je me ſuis pluſieurs fois procuré ce plaiſir, par le moyen d'un ami qui avoit une grande & belle voix de baſſe.

La cauſe de ce phénomene eſt inconteſtablement la communication des vibrations de l'air à la corde, ou au corps ſonore monté aux tons ci-deſſus; car il eſt aiſé de concevoir que les vibrations des cordes montées à l'uniſſon ou à l'octave, ou à la douzieme, &c. de celle qu'on met en mouvement, ſont diſpoſées à recommencer réguliérement, & en même temps que celles de cette corde, en ſe répondant vibration pour vibration, dans le cas de l'uniſſon, ou deux pour une, dans le cas de l'octave, ou trois pour une, dans celui de la douzieme: ainſi, les petites impulſions de l'air vibrant, que produira la corde miſe en vibration, conſpireront toujours à augmenter les mouvements d'abord inſenſibles qu'elles auront cauſés dans ces autres cordes, parcequ'elles ſe feront dans le même ſens, & parviendront enfin à les rendre ſenſibles. C'eſt ainſi qu'un léger ſouffle d'air, toujours dans la même direction, parvient enfin à ſoulever les eaux de l'océan. Mais lorſque les cordes en queſtion ſeront tendues de maniere que leurs vibrations ne puiſſent avoir aucune correſpondance avec celles de la corde frappée, alors elles ſeront tantôt aidées, tantôt contrariées, & le petit mouvement qui pourra leur être communiqué ſera auſſi-tôt anéanti

qu'engendré ; conſéquemment elles reſteront en repos.

## QUESTION.

*Les ſons harmoniques qu'on entend avec le ſon principal, ont-ils leur ſource immédiate dans le corps ſonore, ou réſident-ils ſeulement dans l'air ou dans l'organe ?*

Il eſt très-probable que le ſon principal eſt le ſeul qui tienne ſon origine immédiate des vibrations du corps ſonore. D'habiles phyſiciens ont cherché à démêler ſi, indépendamment des vibrations totales que fait un corps, il en faiſoit de partielles, & ils n'ont jamais pu y rien voir que des vibrations ſimples. Comment concevroit-on d'ailleurs que la totalité d'une corde fût en vibration, & que, pendant ce mouvement, elle ſe partageât en deux parties qui fiſſent auſſi leurs vibrations à part, ou en trois qui fiſſent auſſi leurs vibrations particulieres, &c ?

Il faut donc dire que ces ſons harmoniques d'octave, de douzieme, de dix-ſeptieme, ſont dans l'air ou dans l'organe. L'un & l'autre ont de la probabilité ; car, puiſqu'un ſon déterminé a la propriété de mettre en vibration les corps diſpoſés à rendre ſon octave, ſa douzieme, &c. on doit reconnoître que ce ſon peut mettre en mouvement les particules de l'air ſuſceptibles de vibrations, doubles, triples, quadruples, quintuples en viteſſe. Néanmoins, ce qui me paroît à cet égard de plus vraiſemblable, c'eſt que ces vibrations n'exiſtent que dans l'oreille. L'anatomie de cet organe paroît en effet démontrer que le ſon ne ſe tranſmet à l'ame que par les vibrations

des filets nerveux qui tapiſſent la conque de l'oreille ; &, comme elles ſont d'inégales longueurs, il y en a toujours quelques-unes d'entr'elles qui font des vibrations iſochrones à celles d'un ſon donné ; mais en même temps, & par la propriété ci-deſſus, ce ſon doit mettre en mouvement les fibres ſuſceptibles de vibrations iſochrones, & même celles qui peuvent faire des vibrations doubles, triples, quadruples, &c. en viteſſe. Tel eſt, à mon avis, ce qu'on peut dire de plus probable ſur ce phénomene ſingulier. J'adopterai de tout mon cœur une explication plus vraiſemblable, quand je la connoîtrai.

## TROISIEME EXPÉRIENCE.

On doit cette expérience au célebre Tartini de Padoue. Faites tirer à-la-fois, de deux inſtruments, deux ſons quelconques ; vous en entendrez dans l'air un troiſieme, qui ſera d'autant plus perceptible, que vous aurez l'oreille plus voiſine du milieu de la diſtance entre les inſtruments. Que ce ſoient, par exemple, deux ſons qui ſe ſuccedent dans l'ordre des conſonnances, comme l'octave & la douzieme, la double octave & la dix-ſeptieme majeure, &c ; le ſon réſultant, dit M. Tartini, ſera l'octave du ſon principal.

Cette expérience, répétée en France, a réuſſi, comme l'atteſte M. Serres dans ſes *Principes de l'Harmonie*, imprimés en 1753 ; à cela près que M. Serres a trouvé ce dernier ſon plus bas d'une octave ; ce qu'on trouve par la théorie devoir être. Il eſt ſi aiſé de confondre les octaves entre elles, que cela ne doit pas ſurprendre. Au ſurplus, nous devons remarquer ici que le célebre muſi-

cien de Padoue a établi ſur ce phénomene un ſyſtême d'harmonie & de compoſition ; mais il ne paroît pas avoir fait encore la fortune de celui de Rameau.

## ARTICLE VIII.

### *Des différents Syſtêmes de Muſique, Grec, Moderne, & de leurs particularités.*

#### §. I.

#### *De la Muſique Grecque.*

DANS la naiſſance de la muſique chez les Grecs, il y avoit à la lyre quatre cordes, dont les ſons auroient répondu à *ſi*, *ut*, *re*, *mi* : dans la ſuite on y ajouta trois autres cordes, *fa*, *ſol*, *la* : ainſi la premiere échelle diatonique grecque, traduite en notre langue muſicale, étoit *ſi*, *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *ſol*, *la*, & étoit compoſée de deux tétracordes, ou ſyſtême de quatre ſons, *ſi*, *ut*, *re*, *mi* ; *mi*, *fa*, *ſol*, *la*, dont le dernier de l'un & le premier de l'autre étoient communs ; ce qui les fit appeller *tétracordes conjoints*.

Remarquons que, quelque bizarre que paroiſſe cette diſpoſition de ſons à ceux qui ne connoiſſent que l'ordre diatonique moderne, elle n'en eſt pas moins naturelle, & conforme aux regles de l'harmonie ; car M. Rameau a montré qu'elle n'eſt autre choſe qu'un chant dont la baſe fondamentale ſeroit *ſol*, *ut*, *ſol*, *ut*, *fa*, *ut*, *fa*. Elle a auſſi l'avantage de n'avoir qu'un ſeul intervalle altéré, ſçavoir, la tierce mineure du *re* au *fa*, qui, au lieu d'être dans

le rapport de 5 à 6, eſt dans celui de 27 à 32, qui eſt un peu moindre, & conſéquemment trop baſſe d'un *comma* de 80 à 81.

Mais cette perfection étoit balancée par deux grandes imperfections, ſçavoir, 1° de ne pas completter l'octave, 2° de ne pas ſe terminer par un repos, ce qui laiſſe à l'oreille l'eſpece d'inquiétude qui réſulte d'un chant commencé & non fini. Elle ne pourroit néanmoins ni monter au *ſi*, ni deſcendre au *la*. Auſſi les muſiciens qui, pour completter l'octave, avoient ajouté cette derniere note au deſſous, la regardoient-ils comme étrangere, pour ainſi dire, & lui donnoient le nom de *proslanbanomene*.

On chercha, par cette raiſon, un autre remede à ce défaut, & l'on propoſa (ce fut, dit-on, Pythagore) la ſucceſſion de ſons, *mi*, *fa*, *ſol*, *la*; *ſi*, *ut*, *re*, *mi*, compoſée, comme l'on voit, de deux tétracordes disjoints. Cette échelle diatonique eſt preſque la même que la nôtre, à cela près que la nôtre commence & finit par la tonique, & celle-là commence & finit par la médiante ou la tierce majeure. Cette déſinence, aujourd'hui preſque réprouvée, étoit aſſez ordinaire aux Grecs, & l'eſt encore dans nos chants d'égliſe.

Mais ici, par une ſuite de la génération harmonique, les valeurs des ſons & des intervalles ne ſont pas les mêmes que dans la premiere échelle. Dans celle-ci, l'intervalle du *ſol* au *la* étoit un ton mineur; il eſt, dans la ſeconde, un ton majeur. Il y a enfin, dans cette ſeconde diſpoſition, trois intervalles altérés ou faux, ſçavoir, la tierce majeure du *fa* au *la*, trop haute; la tierce mineure de *la* à *ut*, trop baſſe; enfin la quinte du *la* au *mi*, trop haute. Ce ſont les mêmes défauts que ceux

de notre échelle diatonique ; mais le tempérament les corrige.

Dans la ſuite, les Grecs ajouterent à ces ſons un tétracorde conjoint au deſſous, *ſi*, *ut*, *re*, *mi*, & un autre en montant, *mi*, *fa*, *ſol*, *la* ; au moyen de quoi ils remplirent à peu près tous les beſoins de la mélodie, tant qu'elle ſe bornoit au même ton. Ptolémée parle d'une combinaiſon, au moyen de laquelle on joignoit le ſecond tétracorde primitif au premier, en baiſſant le *ſi* d'un demi-ton ; ce qui faiſoit *ſi bémol*, *ut*, *re*, *mi*. Sans doute cela ſervoit lorſque du ton d'*ut* on paſſoit à celui de ſa quinte inférieure *fa*, tranſition familiere à la muſique grecque, ainſi qu'à notre muſique d'égliſe ; car il faut alors en effet un *ſi bémol*. Plutarque enfin parle d'une combinaiſon où l'on disjoignoit les deux derniers tétracordes, en élevant le *fa* d'un demi-ton, & ſans doute celui de ſon octave au deſſous. Qui ne reconnoîtra là notre *fa* ♯, qui eſt néceſſaire lorſque du ton d'*ut* on paſſe à celui de ſa quinte ſupérieure *ſol* ? Sans doute les cordes du *ſi bémol* & du *fa dieſe* étoient ſimplement ajoutées & non ſubſtituées à celle de *ſi* & de *fa*. Diſons maintenant quelque choſe des modes & des genres de la muſique ancienne.

Tout le monde ſçait qu'il y avoit dans la muſique grecque trois genres ; ſçavoir, le diatonique, le chromatique, & l'enharmonique. Tout ce qu'on vient de dire ne concerne que le diatonique.

Ce qui caractériſe le chromatique, eſt d'employer, ſoit en montant, ſoit en deſcendant, pluſieurs demi-tons de ſuite. La gamme chromatique grecque étoit *ſi*, *ut*, *ut dieſe*, *mi*, *fa*, *fa dieſe*, *la*. Cette diſpoſition, dans laquelle de l'*ut*

*dieſe*

*dieſe* on paſſe immédiatement au *mi*, en omettant le *re*, paroîtra ſans doute très-étrange ; mais il n'eſt pas moins certain que c'étoit la gamme dont les Grecs faiſoient uſage dans le genre chromatique. On ne ſçait point, au reſte, ſi les Grecs avoient des morceaux de muſique conſidérables dans ce genre, ou ſi, comme nous, ils n'en faiſoient uſage que dans des paſſages ou des traits de chant fort courts : car nous avons auſſi un genre chromatique, quoique dans une acception différente. Cette tranſition de demi-tons en demi-tons, eſt moins naturelle que la ſucceſſion diatonique ; mais elle n'en a que plus d'énergie pour exprimer certains ſentiments particuliers : auſſi les Italiens, grands coloriſtes en muſique, en font-ils fréquemment uſage dans leurs airs.

Quant à l'enharmonique grec, quoique regardé par les anciens comme le genre le plus parfait, c'eſt encore une énigme pour nous. Pour en donner une idée, qu'on prenne le ſigne * pour celui du dieſe enharmonique, c'eſt-à-dire qui éleve la note d'un quart de ton ; l'échelle enharmonique étoit *ſi*, *ſi* *, *ut*, *mi*, *mi* *, *fa*, *la*, où l'on voit qu'après deux quarts de ton du *ſi* à l'*ut*, ou du *mi* au *fa*, on paſſoit au *mi* ou au *la*. On ne conçoit guere comment il pourroit y avoir des oreilles aſſez exercées pour apprécier des quarts de ton, &, en ſuppoſant qu'il y en eût, quelle modulation on pourroit faire avec ces ſons. Cependant il eſt très-certain que ce genre fit pendant longtemps les délices de la Grece ; mais ſa difficulté le fit enfin abandonner, enſorte qu'il ne nous eſt pas même parvenu de morceau de muſique grecque dans le genre enharmonique, ni même dans le

chromatique, tandis que nous en avons dans le diatonique.

Nous croyons cependant devoir remarquer ici, que cet enharmonique grec n'eſt peut-être pas auſſi éloigné de la nature qu'on l'a penſé juſqu'ici; car enfin M. Tartini, en propoſant l'uſage de ſa ſeptieme conſonnante, qui eſt un ſon à très-peu de choſe moyen entre le *la* & le *ſi bémol*, ne prétend-il pas que cette intonation, *la*, *ſi bb*, *ſi b*, *re*, *re*, *ſi b*, *ſi bb*, *la*, eſt non-ſeulement ſupportable, mais pleine d'agrément? (Le double *bb* indique ici le quart de ton.) M. Tartini fait plus, car il aſſigne à cette ſucceſſion de ſons ſa baſſe *fa*, *ut*, *ſol*, *ſol*, *ut*, *fa*, en chiffrant l'*ut* de ce ſigne *b7*, qui ſignifie ſeptieme conſonnante. Si cette prétention de M. Tartini trouve des ſectateurs, ne peut-on pas dire que voilà l'enharmonique grec retrouvé?

Il nous reſte à dire un mot des modes de la muſique grecque. Quelque obſcure que ſoit cette matiere, ſi nous en croyons l'auteur de l'*Hiſtoire des Mathématiques*, qui s'appuie de certaines tables de Ptolémée, ces modes ne ſont autre choſe que les tons de notre muſique, & il en donne la comparaiſon ſuivante.

Le dorien étant pris hypothétiquement pour le mode d'*ut*, ces modes, les uns plus bas que le dorien, & les autres plus hauts, étoient:

*L'Hypodorien*, . . . répondant au *ſol*.
*L'Hypophrygien*, . . . . . *la bémol*.
*L'Hypophrygien* acutior, . . . . . *la*.
*L'Hypolydien*, ou *Hypoœolien*, . . *ſi bémol*.
*L'Hypolydien* acutior, . . . . . *ſi*.

*Le Dorien*, . . . répondant à l'*ut*.
*L'Iaſtien* ou *Ionien*, . . . . *ut dieſe*.
*Le Phrygien*, . . . . . *re*.
*L'Eolien*, . . . . . *re dieſe*.
*Le Lydien*, . . . . . *mi*.
*L'Yperdorien*, . . . . . *fa*.
*L'Yperiaſtien*, ou *Mixolydien*, . *fa dieſe*.
*L'Hypermixolydien*, . . . . *ſol* { Replique du prem.

Mais on pourroit faire cette queſtion : Si la différence des modes chez les Grecs ne conſiſtoit que dans le plus ou le moins de hauteur du ton de la modulation, comment expliquer ce qu'on nous raconte des caracteres de ces différents modes, dont l'un excitoit la fureur, & dont l'autre la calmoit, &c? Cela donne lieu de croire qu'il y avoit quelque choſe de plus; peut-être, indépendamment du différent ton, y avoit-il un caractere de modulation propre. Le phrygien, par exemple, qui probablement tiroit ſon origine du peuple de ce nom, peuple dur & belliqueux, avoit un caractere mâle & guerrier; tandis que le lydien, qui venoit d'un peuple mou & efféminé, portoit un caractere analogue, & conſéquemment tout-à-fait propre à adoucir les mouvements excités par le premier.

Mais en voilà aſſez ſur la muſique grecque; paſſons à la muſique moderne.

## §. II.

### *De la Muſique Moderne.*

Tout le monde ſçait que la gamme ou l'échelle diatonique moderne, eſt repréſentée par ces ſons,

*ut*, *re*, *mi*, *fa*, *ſol*, *la*, *ſi*, *ut*, qui complettent toute l'étendue de l'octave. Il faut ajouter ici que, de ſa génération développée par M. Rameau, il ſuit que de l'*ut* au *re*, il y a un ton majeur; du *re* au *mi*, un mineur; du *mi* au *fa*, un demi-ton majeur; du *fa* au *ſol*, un ton majeur, ainſi que du *ſol* au *la*; enfin du *la* au *ſi* un ton mineur, & du *ſi* à l'*ut* un demi-ton majeur.

On conclud de-là, qu'il y a dans cette échelle trois intervalles qui ne ſont pas entiérement juſtes, ſçavoir, la tierce mineure du *re* au *fa*: en effet, n'étant compoſée que d'un ton mineur & d'un demi-ton majeur, elle n'eſt que dans le rapport de 27 à 32, qui eſt un peu moindre, ſçavoir d'un 80$^{e}$, que celui de 5 à 6, rapport juſte des ſons qui compoſent la tierce mineure.

Pareillement la tierce majeure de *fa* à *la* eſt trop haute, étant compoſée de deux tons majeurs, au lieu qu'elle doit etre compoſée d'un ton majeur & d'un mineur, pour être exactement dans le rapport de 4 à 5. La tierce mineure de *la* à *ut* eſt enfin altérée, par la même raiſon que celle *re* à *fa*.

Si cette diſpoſition des tons majeurs & mineurs étoit arbitraire, ils pourroient ſans doute être arrangés de maniere qu'il y eût moins d'intervalles altérés: il ſuffiroit pour cela de faire mineur le ton de *ut* à *re*, & majeur celui du *re* au *mi*: on pourroit auſſi faire mineur le ton du *ſol* au *la*, & majeur celui du *la* au *ſi*. Car on trouvera, énumération faite, qu'il n'y auroit plus, par ce moyen, qu'une ſeule tierce altérée; au lieu qu'il y en a trois dans l'autre diſpoſition. De-là ſont venues les diſputes entre les muſiciens ſur la diſtribution des tons mineurs & majeurs, les uns

voulant, par exemple, que de l'*ut* au *re* il y eût un ton majeur, les autres voulant qu'il fût mineur. Mais la génération harmonique de l'échelle diatonique, développée par M. Rameau, ne permet pas cette disposition, mais uniquement la premiere : c'est celle qui est indiquée par la nature ; &, malgré ses imperfections que le tempérament corrige dans l'exécution, elle est préférable à la premiere des échelles grecques, fort défectueuse, en ce qu'elle ne comprenoit pas toute l'étendue de l'octave : elle vaut mieux aussi que la seconde, attribuée à Pythagore, *mi*, *fa*, *sol*, &c. parceque sa définence est plus parfaite, & porte à l'oreille un repos qui n'est pas dans celle de Pythagore, à cause de sa chute sur la tonique, annoncée & précédée par la note *si*, tierce de la quinte *sol*, dont l'effet est si marqué pour toutes les oreilles musicales, qu'elle en a retenu le nom de *note sensible*.

On reconnoît dans la musique deux modes proprement dits, dont les caracteres sont bien marqués aux oreilles douées de quelque sensibilité musicale : c'est ce qu'on appelle le *mode majeur* & le *mineur*. On est dans le mode majeur, quand, dans l'échelle diatonique, la tierce de la tonique est majeure : telle est la tierce de l'*ut* au *mi*. Ainsi la gamme, ou l'échelle diatonique ci-dessus, est dans le mode majeur.

Mais lorsque la tierce de la tonique est mineure, on est dans le mode mineur. Ce mode a son échelle, comme le majeur. Prenons *la* pour tonique ; l'échelle du mode mineur en montant est *la*, *si*, *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *sol* ※, *la*. Nous disons en montant, car c'est ici une singularité du mode mineur, que son échelle est différente en

deſcendant qu'en montant. En effet, on doit dire en deſcendant, *la*, *ſol*, *fa*, *mi*, *re*, *ut*, *ſi*, *la*. Si le ton étoit en *ut*, l'échelle montante ſeroit, *ut*, *re*, *mi b*, *fa*, *ſol*, *la b*, *ſi*, *ut*; & en deſcendant, *ut*, *ſi b*, *la b*, *ſol*, *fa*, *mi b*, *re*, *ut*. Voilà pourquoi, dans les airs en mineur, ſans que le ton ait changé, on rencontre ſi ſouvent des *dieſes* ou des *bémols* accidentels, ou des *béquarres* qui détruiſent bientôt leur effet, ou celui de ceux qui ſont à la clef. C'eſt une de ces ſingularités dont l'oreille avoit fait ſentir la néceſſité aux muſiciens, mais dont M. Rameau a le premier développé la cauſe, qui réſide dans la marche de la baſſe fondamentale.

Ajouterons-nous à ces deux modes un troiſieme, propoſé par M. de Blainville, ſous le nom de *mode mixte*, & dont il enſeigne la génération & les propriétés, dans ſon *Hiſtoire de la Muſique?* Son échelle eſt, *mi*, *fa*, *ſol*, *la*, *ſi*, *ut*, *re*, *mi*. Je me borne à dire que je ne vois pas que les muſiciens aient encore fait beaucoup d'accueil à ce mode nouveau, & j'avoue n'être pas aſſez verſé en ces matieres pour pouvoir dire s'ils ont tort ou raiſon.

Quoi qu'il en ſoit, le caractere du mode majeur eſt la gaieté & le brillant; le mineur a quelque choſe de ſombre & de triſte, qui le rend particuliérement propre aux expreſſions de cette eſpece.

La muſique moderne a auſſi ſes genres, comme l'ancienne. Le diatonique eſt le plus commun, comme il eſt auſſi celui qui eſt le plus clairement indiqué par la nature; mais les modernes ont auſſi leur chromatique, & même, à certains égards, leur enharmonique, quoique dans des ſens un peu

différents de ceux que les anciens attachoient à ces mots.

La modulation eſt chromatique, lorſque l'on paſſe pluſieurs demi-tons de ſuite, comme ſi l'on diſoit, *fa*, *mi*, *mi b*, *re*, ou *ſol*, *fa* ※, *fa*, *mi*. Il eſt aſſez rare d'avoir ainſi plus de trois ou quatre demi-tons conſécutifs. On trouve néanmoins, dans un air du ſecond acte de la *Zingara*, ou la *Bohémienne*, intermede italien, une octave preſque entiere de l'*ut* au *re* inférieur, toute en demi-tons; ce qui fait dix demi-tons conſécutifs. C'eſt le plus long paſſage chromatique que je connoiſſe.

M. Rameau trouve l'origine de cette progreſſion dans la marche de la baſſe fondamentale, qui, au lieu d'aller de quinte en quinte, ce qui eſt ſon mouvement naturel, marche de tierce en tierce. Mais il faut remarquer ici que, dans l'exactitude, il ne doit y avoir dans le premier paſſage du *mi* au *mi b* qu'un demi-ton mineur, & un demi-ton majeur du *mi b* au *re;* mais le tempérament & la conſtitution de la plupart des inſtruments, en confondant le *re* ※ avec le *mi b*, partagent également l'intervalle du *re* au *mi*, & l'oreille en eſt affectée parfaitement de même, ſurtout au moyen de l'accompagnement.

Il y a deux enharmoniques, l'un appellé *diatonique enharmonique*, l'autre *chromatique enharmonique*, mais très-rarement employés par les muſiciens. Ce n'eſt pas qu'on y faſſe uſage des quarts de ton, comme dans l'enharmonique ancien; mais ces genres ont reçu ces noms, parceque de la marche de la baſſe fondamentale réſultent des ſons qui, quoique pris les uns pour les autres, different réellement entr'eux du quart de ton appellé par les anciens *enharmonique*, ou de 125

à 128. Dans le diatonique enharmonique, la baſſe fondamentale marche alternativement par quinte & par tierce; & dans le chromatique enharmonique, elle va alternativement par tierce majeure & mineure. Cette marche introduit, tant dans la mélodie que dans l'harmonie, des ſons qui, n'étant point du ton principal ni de ſes relatifs, portent l'étonnement à l'oreille, & l'affectent d'une maniere dure & extraordinaire, mais propre à de certaines expreſſions violentes & terribles. C'eſt pour cela que M. Rameau avoit employé le diatonique enharmonique dans ſon trio des Parques de l'opéra d'*Hippolite & Aricie;* & quoiqu'il ne l'ait pu faire exécuter, il n'en a pas moins reſté perſuadé qu'il eût produit un grand effet, s'il avoit trouvé des exécuteurs diſpoſés à ſe prêter à ſes idées; enſorte qu'il l'a laiſſé ſubſiſter dans la partition imprimée. Il cite comme un morceau d'enharmonique, une ſcene de l'opéra italien de *Coriolano*, commençant par ces mots, *O iniqui Marmi!* qu'il dit admirable. On trouve enfin des échantillons de ce genre dans deux de ſes pieces de claveſſin, la *Triomphante* & l'*Enharmonique*, & il ne déſeſpéroit pas de venir à bout d'employer même le chromatique enharmonique, du moins dans les ſymphonies. Pourquoi effectivement ne l'auroit-il pas fait, puiſque Locatelli, dans ſes premiers concertos, a employé ce genre, en laiſſant ſubſiſter les dieſes & les bémols; (diſtinguant, par exemple, le *re* ♯ du *mi b?*) C'eſt un morceau, dit un hiſtorien moderne de la muſique, (M. de Blainville) vraiment infernal, & qui met l'ame dans une ſituation violente d'appréhenſion & d'effroi.

Nous ne pouvons mieux faire, pour terminer

cet article, que de donner quelques exemples de la muſique de différentes nations. Nous avons fait graver, dans cette vue, divers airs grecs, chinois, turcs, perſans, qui pourront ſervir à donner une idée de la modulation qui caractériſe la muſique de ces peuples différents. Pl. 16.

## ARTICLE IX.

### *Paradoxes Muſicaux.*

### §. I.

*On ne peut entonner juſte ces ſons*, ſol, ut, la, re, ſol, *ſçavoir, de* ſol *à* ut *en montant, de* ut *à* la *en redeſcendant de tierce mineure, puis montant de quarte à* re, *& deſcendant de* re *à* ſol, *de quinte; on ne peut, dis-je, entonner juſte ces intervalles, & faire le ſecond* ſol *à l'uniſſon du premier.*

EN effet, on trouve par le calcul que, le premier *ſol* étant repréſenté par 1, l'*ut* en montant de quarte ſera $\frac{3}{4}$; conſéquemment le *la*, en deſcendant de tierce mineure, ſera $\frac{9}{10}$; donc le *re* au deſſus ſera $\frac{27}{40}$; enfin le *ſol*, en deſcendant de quinte, ſera $\frac{81}{80}$. Or le ſon repréſenté par $\frac{81}{80}$, eſt plus bas que celui repréſenté par 1; donc le dernier *ſol* eſt plus bas que le premier.

D'où vient, dira-t-on, l'expérience eſt-elle cependant contraire à ce calcul? Je réponds que cela vient uniquement de la réminiſcence du premier ton *ſol*. Mais ſi l'oreille n'étoit point affectée de ce ton, & que le chanteur fût uniquement attentif

à entonner juſte les intervalles ci-deſſus, il eſt évident qu'il finiroit par un *ſol* plus bas. Auſſi arrive-t-il bien fréquemment qu'une voix non-accompagnée, après avoir chanté un long air dans lequel on parcourt pluſieurs tons, reſte, en finiſſant, plus haut ou plus bas que le ton par lequel elle a commencé.

Cela vient de l'altération néceſſaire de quelques intervalles dans l'échelle diatonique. Dans l'exemple précédent de *la* à *ut*, il n'y a qu'une tierce mineure dans le rapport de 27 à 32, & non de 5 à 6 : mais c'eſt cette derniere que l'on entonne, ſi l'on a la voix juſte & exercée : on baiſſe conſéquemment d'un comma plus qu'il ne faudroit : il n'eſt donc pas étonnant que le dernier *ſol* ſoit auſſi plus bas d'un comma que le premier.

## §. II.

*Dans un inſtrument à touches, comme dans un claveſſin, il eſt impoſſible que les tierces & les quintes ſoient enſemble juſtes.*

On le démontre aiſément de cette maniere. Soit cette ſuite de tons à la quinte les uns des autres en montant, *ut*, *ſol*, *re*, *la*, *mi* ; en déſignant *ut* par 1, *ſol* ſera $\frac{2}{3}$, *re* $\frac{4}{9}$, *la* $\frac{8}{27}$, *mi* $\frac{16}{81}$ : ce *mi* devroit faire la tierce majeure avec la double octave de *ut* ou $\frac{1}{4}$, c'eſt-à-dire qu'ils devroient être dans le rapport de 1 à $\frac{4}{5}$, ou de 5 à 4, ou de 80 à 64 ; ce qui n'eſt pas, car $\frac{1}{4}$ & $\frac{16}{81}$ ſont comme 81 à 64 : ainſi ce *mi* ne fait pas la tierce majeure avec la double octave d'*ut* ; ou, les abaiſſant l'un & l'autre de la double octave, *ut* & *mi* ne ſont pas à la tierce, ſi *mi* eſt à la quinte juſte de *la*.

Auſſi, dans un inſtrument à touches, un claveſſin, par exemple, quelque bien accordé qu'il ſoit, tous les intervalles, aux octaves près, ſont faux ou altérés. Cela ſuit néceſſairement de la maniere dont on accorde cet inſtrument; car, ayant mis tous les *ut* à l'octave les uns des autres, comme il convient, on met *ſol* à la quinte d'*ut*, *re* à la quinte de *ſol*, & on le rabaiſſe d'octave, parcequ'il l'excede; de-là on met *la* à la quinte du *re* ainſi abaiſſé, & *mi* à la quinte du *la*, & on rabaiſſe ce *mi* d'octave : en continuant ainſi de monter deux fois de quinte, enſuite de deſcendre d'octave, on trouve la ſuite des ſons, *ſi*, *fa* ※, *ut* ※, *ſol* ※, *re* ※, *la* ※, *mi* ※, *ſi* ※. Or ce dernier *ſi* ※, qui devroit être tout au plus à l'uniſſon de l'*ut*, octave du premier, ſe trouve plus haut; car le calcul montre qu'il eſt exprimé par $\frac{262144}{531441}$, ce qui eſt moindre que $\frac{1}{2}$, valeur de l'octave d'*ut*: c'eſt-là ce qui néceſſite ce qu'on nomme le *tempérament*, qui conſiſte à baiſſer toutes les quintes légérement & également, enſorte que ce dernier *ſi* ※, ſe trouve préciſément à l'octave du premier *ut*: c'eſt du moins la pratique enſeignée par Rameau, & c'eſt la plus fondée en raiſon. Mais, quelle que ſoit la méthode employée, elle conſiſte toujours à rejeter plus ou moins également cet excès du *ſi* ※ au deſſus de l'*ut*, ſur les notes de l'octave; ce qui ne peut ſe faire ſans altérer plus ou moins les quintes, les tierces, &c.

Nous venons de voir le *ſi* ※, donné par la progreſſion des quintes, plus haut que l'*ut*; mais ſi on emploie la progreſſion ſuivante des tierces, *ut*, *mi*, *ſol* ※, *ſi* ※, ce *ſi* ※ ſera fort différent du premier; car on trouve qu'il eſt exprimé par $\frac{64}{125}$, tandis que l'octave d'*ut* eſt $\frac{1}{2}$. Or $\frac{1}{2}$ eſt moindre

que $\frac{64}{125}$; ainſi ce *ſi* ♯ eſt au deſſous de l'*ut* exprimé par $\frac{1}{2}$, & l'intervalle de ces deux ſons eſt exprimé par le rapport de 128 à 125, ce qui eſt le quart de ton enharmonique.

## §. III.

*Une note inférieure, par exemple* re, *affectée du dieſe, n'eſt pas la même choſe que la note ſupérieure* mi, *affectée du bémol; & ainſi des autres notes diſtantes d'un ton entier.*

Les dieſes ſont ordinairement donnés par le mode majeur, & même par le mineur, pour que la ſous-tonique ne ſoit éloignée de la tonique que d'un demi-ton majeur, comme dans le ton d'*ut*, le *ſi* l'eſt de l'*ut*: donc, du *re* au *mi* y ayant un ton mineur, qui eſt compoſé d'un demi-ton majeur & d'un mineur, ſi l'on ôte un demi-ton majeur dont le *re* ♯ doit être au deſſous du *mi*, le reſtant ſera un demi-ton mineur dont ce même *re* ♯ ſera au deſſus du *re*.

S'il étoit queſtion de deux notes dont la diſtance fût d'un ton majeur, le dieſe éleveroit la note inférieure d'un intervalle égal à un demi-ton mineur, plus un comma de 80 à 81, qui eſt un demi-ton moyen entre le majeur & le mineur.

Le dieſe n'éleve donc la note que d'un demi-ton mineur ou moyen.

Les bémols ſont ordinairement introduits dans la modulation par le mode mineur, lorſqu'on eſt obligé d'abaiſſer la note de la tierce, de maniere qu'elle faſſe avec la tonique une tierce mineure: ainſi le *mi* bémol doit faire avec *ut* une tierce mineure: donc, de la tierce majeure *ut mi*, qui

eſt $\frac{4}{7}$, ôtant la tierce mineure qui eſt $\frac{5}{6}$, le reſtant $\frac{24}{25}$ eſt ce dont le bémol abaiſſe le *mi* au deſſous du ton naturel ; conſéquemment le *mi* bémol eſt plus haut que le *re* dieſe.

Dans la pratique néanmoins on prend l'un pour l'autre, ſur-tout dans les inſtruments à touches : le bémol y eſt abaiſſé, & le dieſe inſenſiblement hauſſé, de maniere qu'ils coïncident l'un avec l'autre ; & je ne crois pas que la pratique gagnât grand'choſe à en faire la diſtinction, quand elle n'entraîneroit pas beaucoup d'inconvénients.

## ARTICLE X.

### *Quelle eſt la cauſe du plaiſir muſical? Des effets de la muſique ſur les hommes & ſur les animaux.*

ON demande communément pourquoi l'on goûte du plaiſir à entendre deux ſons qui forment enſemble la quinte, la tierce ; & pourquoi au contraire l'oreille éprouve un ſentiment déſagréable en entendant deux ſons qui ne ſont qu'à un ton ou un demi-ton l'un de l'autre? Cette queſtion n'eſt pas aiſée à réſoudre. Voici néanmoins ce qu'on a dit ou qu'on peut dire de plus probable.

Le plaiſir, dira-t-on, conſiſte dans la perception des rapports : c'eſt ce qu'on prouve par divers exemples tirés des arts. Ainſi le plaiſir de la muſique conſiſte dans la perception des rapports des ſons. Ces rapports ſont-ils aſſez ſimples pour que l'ame

puiſſe les ſaiſir & en appercevoir l'ordre ? Les ſons plairont étant entendus enſemble ; ils déplairont au contraire, ſi leurs rapports ſont trop compoſés, ou n'ont abſolument aucun ordre.

L'énumération des conſonnances & des diſſonnances connues, confirme aſſez bien ce raiſonnement. Dans l'uniſſon, les vibrations de deux ſons coïncidant ſans ceſſe enſemble dans leur durée, voilà le rapport le plus ſimple : auſſi l'uniſſon eſt-il la premiere des conſonnances. Dans l'octave, les deux ſons qui la forment font leurs vibrations de maniere que deux de l'un s'achevent en même temps qu'une de l'autre : ainſi l'octave ſuccede à l'uniſſon. Elle eſt ſi naturelle à l'homme, que celui qui ne peut, par le défaut de ſa voix, atteindre à un ſon trop grave ou trop aigu, entonne tout naturellement l'octave ou la double octave au deſſus ou au deſſous.

Maintenant, que les vibrations de deux ſons ſe faſſent enſorte que trois de l'un répondent à une de l'autre, vous aurez le rapport le plus ſimple après ceux ci-deſſus. Qui ne ſçait auſſi que, de tous les accords, le plus flatteur à l'oreille eſt celui de la douzieme ou de l'octave de la quinte ? Il ſurpaſſe en agrément la quinte même, dont le rapport, un peu plus compoſé, eſt celui de 2 à 3.

Après la quinte, vient la double octave de la tierce, ou la dix-ſeptieme majeure, qui eſt exprimée par le rapport de 1 à 3. Cet accord eſt auſſi, après celui de la douzieme, le plus agréable ; & ſi on l'abaiſſe de la double octave pour avoir la tierce même, il ſera encore conſonnance, le rapport de 4 à 5, qui l'exprime alors, étant aſſez ſimple.

Enfin la quarte exprimée par $\frac{3}{4}$, la tierce mi-

neure exprimée par $\frac{5}{6}$, les ſixtes, tant majeures que mineures, exprimées par $\frac{5}{8}$ & $\frac{3}{5}$, ſont des conſonnances par la même raiſon.

Mais, paſſé ces rapports, tous les autres ſont trop compoſés pour que l'ame puiſſe, ce ſemble, en appercevoir l'ordre : tels ſont l'intervalle du ton, tant majeur que mineur, exprimé par $\frac{8}{9}$ ou $\frac{9}{10}$, à plus forte raiſon celui du demi-ton, tant majeur que mineur, exprimé par $\frac{15}{16}$ ou $\frac{24}{25}$ : tels ſont encore les accords de tierce & de quinte, pour peu qu'ils ſoient altérés ; car la tierce majeure, par exemple, hauſſée d'un comma, eſt exprimée par $\frac{27}{32}$, & la quinte, diminuée de la même quantité, a pour expreſſion $\frac{27}{40}$ : le triton enfin, comme d'*ut* à *fa* ※, eſt une des plus déſagréables diſſonnances ; auſſi eſt-il exprimé par $\frac{18}{25}$.

Voici pourtant une objection très-forte contre ce raiſonnement. Comment, dira-t-on, le plaiſir des accords peut-il conſiſter dans la perception des rapports, tandis que le plus ſouvent l'ame ignore qu'il exiſte de pareils rapports entre les ſons ? L'homme le plus ignorant n'eſt pas moins flatté d'un concert harmonieux, que celui qui a calculé tous les rapports des parties. Tout ce qu'on a dit ci-deſſus ne ſeroit-il pas plus ingénieux que ſolide ?

Nous ne ſçaurions diſſimuler que nous ſommes portés à le penſer ; & il nous ſemble que la célebre expérience de la réſonnance du corps ſonore, fournit une raiſon plus plauſible du plaiſir des accords : car, puiſque tout ſon dégénere en ſimple bruit, lorſqu'il n'eſt pas accompagné de ſa douzieme & de ſa dix-ſeptieme majeure, indépendamment de ſes octaves, n'eſt-il pas évident que, toutes les fois qu'on joint à un ſon ſa douzieme

ou ſa dix-ſeptieme majeure, ou toutes deux enſemble, on ne fait qu'imiter le procédé de la nature, en donnant à ce ſon, d'une maniere plus développée & plus ſenſible, l'accompagnement qu'elle lui donne elle-même, & qui ne ſçauroit manquer de lui plaire, par l'habitude que l'organe a contractée de les entendre enſemble? Cela eſt ſi vrai, qu'il n'y a que deux accords primitifs, la douzieme & la dix-ſeptieme majeures, & que tous les autres, comme la quinte, la tierce majeure, la quarte, la ſixte, en tirent leur origine. On ſçait auſſi que ces deux accords primitifs ſont les plus parfaits de tous, & que c'eſt l'accompagnement le plus gracieux qu'on puiſſe donner à un ſon, quoique, pour la facilité de l'exécution, dans le claveſſin par exemple, on leur ſubſtitue la tierce majeure & la quinte elle-même, qui, avec l'octave, forment ce qu'on nomme l'*accord parfait*; mais il n'eſt parfait que par repréſentation, & le plus parfait de tous ſeroit celui qui au ſon fondamental & à ſes octaves joindroit la douzieme & la dix-ſeptieme majeures: auſſi Rameau l'a-t-il pratiqué, quand il l'a pu, dans ſes chœurs, entr'autres dans un de *Pygmalion*. Nous pourrions étendre davantage cette idée, mais ce que nous avons dit ſuffira pour tout lecteur intelligent.

On raconte des choſes fort extraordinaires de l'effet de la muſique ancienne. C'eſt ici le lieu de les faire connoître, à cauſe de leur ſingularité. Nous les diſcuterons enſuite, & nous montrerons que la muſique moderne peut aller, à cet égard, de pair avec l'ancienne.

On dit donc qu'Agamemnon partant pour la guerre de Troye, & voulant conſerver ſa femme dans la continence, lui laiſſa un muſicien Dorien, qui

qui, pendant aſſez long-temps, par l'effet de ſes airs, rendit vaines les entrepriſes d'Egiſte pour s'en faire aimer ; mais ce prince s'étant apperçu de la cauſe de cette réſiſtance, fit tuer le muſicien, après quoi il n'eut guere de peine à triompher de Clytemneſtre.

On raconte que, dans un temps poſtérieur, Pythagore compoſoit des chants ou airs pour guérir les paſſions violentes, & ramener les hommes à la vertu & à la modération : ainſi, tandis qu'un médecin preſcrit une potion pour la guériſon corporelle d'un malade, un bon muſicien pourroit preſcrire un air pour déraciner une paſſion vicieuſe.

Qui ne connoît enfin l'hiſtoire de Timothée, le ſurintendant de la muſique d'Alexandre ? Un jour que ce prince étoit à table, Timothée joua un air dans le mode phrygien, qui fit une telle impreſſion ſur lui, que, déja échauffé par le vin, il courut à ſes armes, & alloit charger les convives, ſi Timothée n'eût prudemment paſſé auſſi-tôt dans le mode ſous-phrygien. Ce mode calma la fureur de l'impétueux monarque, qui revint prendre place à table. C'eſt ce Timothée qui eſſuya à Sparte l'humiliation de voir en public retrancher quatre des cordes qu'il avoit ajoutées à ſa lyre. Le ſévere Spartiate penſa que cette innovation tendoit à amollir les mœurs, en introduiſant une muſique plus étendue & plus figurée. Cela prouve du moins que les Grecs étoient dans la perſuaſion que la muſique avoit ſur les mœurs une influence particuliere, & que le gouvernement devoit y avoir l'œil.

Eh ! qui peut douter que la muſique ne ſoit capable de produire cet effet ? Qu'on s'interroge

ſoi-même, & qu'on conſulte ſes diſpoſitions lorſqu'on a entendu un air grave & majeſtueux, un air guerrier, ou bien un air tendre joué ou chanté avec ſentiment; qui ne ſent qu'autant les premiers ſemblent élever l'ame, autant le dernier tend à l'amollir & à la diſpoſer à la volupté? Combien de Clytemneſtres ont cédé plus encore au muſicien qu'à l'amant! Divers traits de la muſique moderne la mettent, à cet égard, en parallele avec l'ancienne.

En effet la muſique moderne a eu auſſi ſon Timothée, qui excitoit & calmoit à ſon gré les mouvements les plus impétueux. On raconte de Claudin le jeune, célebre muſicien du temps de Henri III, (*voyez* le Journal de Sancy) que ce prince donnant un concert pour les noces du duc de Joyeuſe, Claudin fit exécuter certains airs, qui affecterent tellement un jeune ſeigneur, qu'il mit l'épée à la main, provoquant tout le monde au combat; mais, auſſi prudent que Timothée, Claudin fit paſſer ſur le champ à un air, apparemment ſous-phrygien, qui calma le jeune homme emporté.

Que dirons-nous de Stradella, des aſſaſſins duquel la muſique de ce fameux compoſiteur fit tomber une fois le poignard? Stradella avoit enlevé à un Vénitien ſa maîtreſſe, & s'étoit ſauvé à Rome: le Vénitien gagea trois ſcélérats pour l'aller aſſaſſiner; mais, heureuſement pour Stradella, ils avoient l'oreille ſenſible à la muſique. Guétant donc le moment de faire leur coup, ils entrerent à Saint-Jean de Latran, où l'on exécutoit un *Oratorio* de celui qu'ils devoient tuer: ils en furent ſi affectés, qu'ils renoncerent à leur projet, & allerent même trouver le muſicien, à qui ils firent part du danger qu'il couroit. Il eſt vrai que Stra-

della n'en fut pas toujours quitte à auſſi bon marché : d'autres ſcélérats, gagés par le Vénitien, & qui apparemment n'avoient point d'oreille, le poignarderent peu de temps après à Genes. Cela s'eſt paſſé vers 1670.

Il n'eſt perſonne qui ignore l'hiſtoire de la tarentule. Le remede à la morſure de cet inſecte eſt la muſique. Ce fait, au reſte, qui a paſſé autrefois pour certain, eſt aujourd'hui conteſté. Quoi qu'il en ſoit, le bon pere Schott nous a tranſmis dans ſa *Muſurgia curioſa*, l'air de la tarentule, qui m'a paru aſſez plat, ainſi que celui qu'il donne comme employé par les pêcheurs Siciliens pour attirer les thons dans leurs filets. Il eſt vrai que les poiſſons ne ſont probablement pas grands connoiſſeurs en muſique.

On raconte divers traits de perſonnes à qui la muſique a conſervé la vie, en opérant une ſorte de révolution dans leur conſtitution. J'ai connu une femme qui, attaquée depuis pluſieurs mois de vapeurs, & opiniâtrément renfermée chez elle, avoit réſolu de s'y laiſſer mourir. On la détermina, non ſans grande peine, à voir une repréſentation de la *Serva Padrona :* elle en ſortit preſque guérie, & abjurant ſes noirs projets : quelques repréſentations de plus la guérirent entiérement.

Il y a en Suiſſe un air célebre, appellé le *ranz des vaches*, qui faiſoit ſur les Suiſſes engagés au ſervice de France un effet ſi extraordinaire, qu'ils ne manquoient pas de tomber dans une mélancolie mortelle quand ils l'avoient entendu : auſſi Louis XIV avoit-il défendu, ſous des peines très-graves, de le jouer en France. J'ai ouï parler d'un air écoſſois, auſſi dangereux pour ceux de cette nation.

La plupart des animaux, juſqu'aux inſectes, ne ſont pas inſenſibles au plaiſir de la muſique. Il n'eſt peut-être aucun muſicien à qui il ne ſoit arrivé de voir des araignées deſcendre le long de leurs fils pour s'approcher de l'inſtrument ; car j'ai eu pluſieurs fois cette ſatisfaction. J'ai vu un chien qui, à un adagio d'une ſonate de Sennaliez, ne manquoit jamais de donner des marques d'une attention & d'un ſentiment particulier, qu'il témoignoit par des hurlements.

Croirons-nous néanmoins le fait rapporté par Bonnet, dans ſon *Hiſtoire de la Muſique ?* Il raconte qu'un officier ayant été mis à la Baſtille, obtint la permiſſion d'y avoir un luth, dont il touchoit très-bien. Il n'en eut pas fait uſage pendant quatre jours, que les ſouris ſortant de leurs trous, & les araignées deſcendant du plancher par leurs fils, vinrent participer à ſes concerts. Son averſion pour ces animaux lui rendit d'abord cette viſite fort déplaiſante, & lui fit ſuſpendre cet exercice ; mais enſuite il s'y accoutuma tellement, qu'il s'en fit une ſorte d'amuſement.

Le même auteur raconte avoir vu en 1688, dans une maiſon de plaiſance de milord Portland, en Hollande, où il étoit en ambaſſade, une écurie où il y avoit une tribune, qu'on lui dit ſervir à donner une fois la ſemaine un concert aux chevaux ; & on lui ajouta qu'ils y paroiſſoient fort ſenſibles. C'eſt pouſſer, il faut en convenir, bien loin l'attention pour les chevaux. Peut-être, & cela eſt plus probable, voulut-on s'amuſer aux dépens de M. Bonnet.

# ARTICLE XI.

## *Des propriétés de quelques inſtruments, & ſur-tout des inſtruments à vent.*

I. ON ſçait, à n'en pouvoir douter, comment un inſtrument à cordes rend ſes ſons : mais on a été long-temps dans l'erreur à l'égard des inſtruments à vent, par exemple d'une flûte ; car on en attribuoit le ſon aux ſurfaces intérieures du tuyau. Le célebre M. Euler a diſſipé le premier cette erreur. De ſes recherches ſur ce ſujet il réſulte,

1° Que le ſon produit par une flûte, n'eſt autre que celui du cylindre d'air qui y eſt contenu ;

2° Que le poids de l'atmoſphere qui le comprime, fait ici l'office de poids tendant ;

3° Enfin, que le ſon de ce cylindre d'air eſt parfaitement le même que celui d'une corde de même maſſe & même longueur, qui ſeroit tendue par un poids égal à celui qui preſſe la baſe de ce cylindre.

L'expérience & le calcul confirment cette vérité. M. Euler trouve en effet qu'un cylindre d'air de 7 pieds & demi du Rhin, dans un temps où le barometre eſt à ſa moyenne hauteur, doit donner le *C* ou le *C-ſol-ut* : telle eſt auſſi, à peu de choſe près, la longueur du tuyau d'orgue ouvert qui rend ce ſon. Si on lui donne ordinairement 8 pieds, c'eſt qu'effectivement il faut cette lon-

gueur dans les temps où le poids de l'atmoſphere eſt le plus grand.

Car, puiſque le poids de l'atmoſphere fait, à l'égard du cylindre d'air réſonnant, l'effet du poids qui tend une corde; plus ce poids ſera conſidérable, plus le ſon ſera élevé: auſſi remarque-t-on que, dans les temps ſereins & chauds, les inſtruments à vent hauſſent de ton, &, tout au contraire, baiſſent dans les temps froids & orageux. Ces mêmes inſtruments hauſſent à meſure qu'ils s'échauffent, parceque le cylindre d'air échauffé, diminuant de maſſe, & le poids de l'atmoſphere reſtant le même, c'eſt tout comme ſi une corde, devenant plus mince, reſtoit chargée du même poids. Tout le monde ſçait qu'elle donneroit un ton plus haut.

Or, comme les inſtruments à cordes doivent baiſſer, parceque le reſſort des cordes diminue peu à peu, il ſuit de-là que des inſtruments à vent, & d'autres à cordes, quelque bien accordés qu'ils aient été enſemble, ne tardent pas à être diſcords: de-là vient que les Italiens n'admettent guere les premiers dans leurs orcheſtres.

II. On remarque dans les inſtruments à vent, comme dans les flûtes & les cors de chaſſe, un phénomene particulier: dans une flûte, par exemple, tous les trous étant bouchés, & inſpirant foiblement dans l'embouchure, vous tirez un ton; ſoufflez un peu plus fort, vous paſſez d'un ſaut à l'octave; de-là un ſouffle ſucceſſivement plus fort, donnera la douzieme ou quinte au deſſus de l'octave, puis la double octave, la dix-ſeptieme majeure.

La cauſe de cet effet eſt la diviſion du cylindre

d'air renfermé dans l'inſtrument : quand on inſpire foiblement, il réſonne dans ſa totalité, il donne le ton le plus bas : ſi, par une inſpiration plus forte, vous tendez à lui faire faire des vibrations plus promptes, il ſe diviſe en deux, qui font leurs vibrations ſéparées, & conſéquemment doivent donner l'octave : un ſouffle plus fort encore le fait diviſer en trois, ce qui doit donner la douzieme, &c, &c.

III. Il nous reſte à parler de la trompette marine. Cet inſtrument n'eſt qu'un monochorde, dont la tablature eſt fort ſinguliere, & qu'on touche avec un archet, en appuyant légérement le doigt ſur les diviſions indiquées par les divers tons : mais, au lieu que dans les inſtruments à cordes ordinaires, le ton baiſſe à meſure que la partie de la corde touchée ou pincée s'allonge, ici c'eſt le contraire ; la moitié de la corde, par exemple, donnant *ut*, les deux tiers donnent le *ſol* au deſſus ; les trois quarts donnent l'octave.

M. Sauveur a le premier rendu raiſon de cette ſingularité, & l'a démontrée à la vue. Il a fait voir que, lorſque la corde eſt diviſée par l'obſtacle léger du doigt, en deux parties qui ſont l'une à l'autre comme 1 à 2, quelle que ſoit la partie que l'on touche, la plus grande ſe diviſe auſſi-tôt en deux parties égales, qui conſéquemment font leurs vibrations dans le même temps, & donnent le même ſon que la plus petite. Or la plus petite étant le tiers de la toute, & les deux tiers de la moitié, elle doit donc donner la quinte ou *ſol*, quand cette moitié donne *ut*. De même les trois quarts de la corde ſe diviſent en trois portions égales au quart reſtant ; & comme

elles ſont leurs vibrations à part, elles doivent donner le même ſon, qui ne peut être que l'octave de la moitié. Il en eſt de même des autres ſons de la trompette marine, qu'on expliquera aiſément d'après ce principe.

## ARTICLE XII.

### *Du ſon fixe : maniere de le tranſmettre & de le conſerver.*

AVANT qu'on connût les effets de la température de l'air ſur le ſon, & ſur les inſtruments avec leſquels on le produit, ceci n'auroit pas même formé une queſtion, ſinon peut-être pour quelques perſonnes douées d'une oreille extrêmement fine & délicate, & dans leſquelles la réminiſcence d'un ton eſt parfaite : pour toute autre, il ne ſeroit guere douteux qu'une flûte à laquelle on n'auroit point touché, donneroit toujours le même ton. Elle ſeroit cependant dans l'erreur ; & ſi l'on demandoit le moyen de tranſmettre à Saint-Domingue, par exemple, ou à Quito, ou ſeulement à notre poſtérité, le ton précis de notre opéra, le problême ſeroit plus difficile à réſoudre qu'il ne paroît d'abord.

Je vais néanmoins, malgré ce qu'on dit communément à cet égard, commencer ici par une ſorte de paradoxe. Je lis par-tout que le degré du ton varie à raiſon de la peſanteur de l'atmoſphere, ou de la hauteur du barometre. C'eſt ce que je ne peux admettre, & je crois pouvoir démontrer le contraire.

Il eſt démontré par les formules de M. Euler, & perſonne ne doute de leur vérité, que ſi G exprime le poids comprimant la colonne d'air d'une flûte, L ſa longueur, P ſa peſanteur; le nombre des vibrations qu'elle fera ſera proportionnel à cette expreſſion $\sqrt{\frac{G}{PL}}$, c'eſt-à-dire en raiſon compoſée de la directe de la racine quarrée de G, ou le poids comprimant, & de l'inverſe du produit de la longueur par le poids. Suppoſons donc invariable la longueur de la colonne d'air miſe en vibration, & que la peſanteur ſeule de l'atmoſphere, ou G, ſoit changeante, ainſi que le poids de la colonne vibrante; on aura le nombre des vibrations proportionnel à l'expreſſion $\sqrt{\frac{G}{P}}$. Or la denſité d'une couche quelconque d'air, étant proportionnelle à tout le poids de la partie de l'atmoſphere qui lui eſt ſupérieure, il ſuit de-là que P, qui eſt ſous la même longueur, comme la denſité, il ſuit, dis-je, que P eſt comme G: ainſi la fraction $\frac{G}{P}$ eſt conſtamment la même, quand la différence de chaleur n'altere point la denſité. La racine quarré de $\frac{G}{P}$ eſt donc auſſi toujours la même; & conſéquemment le nombre des vibrations, ainſi que le ton, ne varie point, à quelque hauteur de l'atmoſphere qu'on ſoit ſitué, ou quelle que ſoit la peſanteur de l'air, pourvu que ſa température n'ait point varié.

Voilà, ce me ſemble, un raiſonnement auquel il eſt impoſſible de repliquer; & ſi l'on a, juſqu'à ce moment, fait entrer la peſanteur de l'air dans les cauſes qui alterent le ton d'un inſtrument à

vent, c'eſt que l'on a implicitement regardé comme invariable la peſanteur de la colonne d'air miſe en vibration. Cependant il eſt évident que, ſous même température, elle doit être plus ou moins denſe, à proportion de la plus ou moins grande peſanteur de l'atmoſphere, puiſqu'elle communique avec la couche d'air environnante, dont la denſité eſt proportionnelle à cette peſanteur. Or la peſanteur eſt proportionnelle ſous même volume à la denſité : donc, &c.

Il ne reſte donc que la variation de la température de l'air à conſidérer, & c'eſt l'unique cauſe qui puiſſe faire varier le ton d'un inſtrument à vent. Mais on parviendroit de la maniere ſuivante à rendre le ton fixe, quel que fût le degré de chaleur ou de froid.

Ayez pour cet effet un inſtrument, tel qu'une flûte traverſiere, dont le cylindre d'air peut être allongé ou raccourci par l'inſertion plus ou moins profonde d'un corps dans l'autre ; ayez-en une autre qui doit reſter invariable, & que vous conſerverez dans la même température, par exemple celle de 10 degrés au deſſus de zéro du thermometre de Réaumur. La premiere flûte étant au même degré de température, vous les mettrez l'une & l'autre parfaitement à l'uniſſon. Echauffez enſuite la premiere juſqu'au 30e degré du thermometre, ce qui imprimera néceſſairement au cylindre d'air contenu le même degré de chaleur, & allongez-la de la quantité néceſſaire pour rétablir parfaitement l'uniſſon : il eſt évident que ſi l'on diviſoit cet allongement en vingt parties, chacune d'elles repréſenteroit la quantité dont la flûte devroit être allongée pour chaque degré du thermometre de Réaumur.

Mais il eſt aiſé de ſentir que la quantité de cet allongement, qui ſeroit tout au plus de quelques lignes, ne ſeroit guere diviſible en tant de parties; c'eſt pourquoi il faudroit qu'il ſe fît par un mouvement de vis, c'eſt-à-dire qu'un des corps de l'inſtrument entrât dans l'autre par un pareil mouvement; car alors il ſera aiſé de faire que cet allongement réponde à une révolution entiere, qu'il ſera facile de diviſer en un grand nombre de parties égales. Il ſuffit d'indiquer ce mécaniſme pour le ſentir.

On pourroit par ce moyen monter, ſi l'on vouloit, l'opéra de Lima, où la chaleur atteint fréquemment le 35$^{e}$ degré, au même ton préciſément que celui de Paris. Mais en voilà aſſez ſur un ſujet dont l'utilité ne vaudroit pas, il faut l'avouer, la peine que l'on prendroit pour atteindre à un pareil degré de préciſion.

## ARTICLE XIII.

### *Application ſinguliere de la muſique à une queſtion de mécanique.*

CETTE queſtion a été anciennement propoſée par Borelli, & quoique nous ne croyons pas qu'elle puiſſe être aujourd'hui la matiere d'une controverſe, elle ne laiſſe pas d'avoir en quelque ſorte partagé des mécaniciens peu attentifs.

Attachez le bout d'une corde à un arrêt fixe, & après l'avoir fait paſſer ſur une eſpece de chevalet, ſuſpendez-y un poids, par exemple de 10 livres.

Maintenant, au lieu de l'arrêt fixe qui maintenoit la corde contre l'action du poids, ſubſtituez-lui un poids égal au premier. On demande ſi, dans les deux cas, la corde eſt également tendue.

Je ne crois pas qu'aucun mécanicien inſtruit doute que, dans l'un & l'autre cas, la tenſion ne ſoit la même. Cela ſuit néceſſairement du principe de l'égalité entre l'action & la réaction. D'après ce principe, l'arrêt immobile, oppoſé dans le premier cas au poids appendu à l'autre extrémité de la corde, ne lui oppoſe ni plus ni moins de réſiſtance que ce poids lui-même exerce d'action: donc, en ſubſtituant à cet arrêt fixe un poids égal au premier pour le contrebalancer, tout reſte égal quant à la tenſion qu'éprouvent les parties de la corde, & qui tend à les ſéparer.

Mais la muſique fournit un moyen de prouver cette vérité à la raiſon par le ſens de l'ouïe; car, puiſque la tenſion reſtant la même, le ton reſte le même, il n'y a qu'à prendre deux cordes de même métal & même calibre, en attacher une par un bout à un arrêt fixe, la faire paſſer ſur un chevalet qui en retranche, depuis cet arrêt fixe, une longueur déterminée, par exemple d'un pied; enfin ſuſpendre à ſon bout un poids donné, par exemple de 10 livres; puis, ayant éloigné deux chevalets de la diſtance d'un pied, attacher à chacune des deux extrémités de la ſeconde corde un poids de 10 livres: ſi les tons ſont les mêmes, on en conclura que la tenſion eſt la même. Nous ne ſçavons ſi cette expérience a jamais été faite, mais nous oſons répondre qu'elle décidera pour l'égalité de la tenſion.

Cette application ingénieuſe de la muſique à

la mécanique, eſt de M. Diderot, qui l'a propoſée dans ſes *Mémoires ſur différents ſujets de Mathématique & de Phyſique*; in-8°, Paris 1748.

## ARTICLE XIV.

### *Quelques conſidérations ſingulieres ſur les* dieſes *& les* bémols, *ainſi que ſur leur progreſſion dans leurs différents tons.*

POUR peu que l'on ſoit inſtruit dans la muſique, on ſçait que, ſuivant les différents tons dans leſquels on module, il faut un certain nombre de *dieſes* ou de *bémols*, parceque dans le mode majeur, l'échelle diatonique, de quelque ton que l'on commence, doit être ſemblable à celle d'*ut*, qui eſt la plus ſimple de toutes, n'y ayant ni *dieſe* ni *bémol*. Ces *dieſes* ou *bémol* ont une marche ſinguliere, qui mérite d'être obſervée, & qui eſt même ſuſceptible d'une ſorte d'analyſe, & de calcul, pour ainſi dire, algébrique.

Pour en donner une idée, nous remarquerons d'abord qu'un *bémol* peut & doit être conſidéré comme un *dieſe* négatif, puiſque ſon effet eſt de baiſſer la note d'un demi-ton, au lieu que le *dieſe* ſert à l'élever de cette même quantité. Cette ſeule conſidération peut ſervir à déterminer tous les *dieſes* & *bémols* des différents tons.

Il eſt facile de voir que, lorſqu'une mélodie en *ut* majeur eſt montée de quinte, ou miſe ſur le ton de *ſol*, il faut un *dieſe* ſur le *fa*. On peut donc conclure de-là que cette modulation, baiſſée de quinte ou miſe en *fa*, exigera un *bémol*. Il en faut en effet un ſur le *ſi*.

De-là ſuit encore cette conſéquence ; c'eſt que, ſi on monte encore cet air d'une quinte, c'eſt-à-dire en *re*, il faudra un *dieſe* de plus : c'eſt pourquoi il en faudra deux. Or monter de deux quintes, & baiſſer enſuite d'une octave, pour ſe rapprocher du ton primitif, c'eſt s'élever ſeulement d'un ton ; ainſi, pour monter l'air d'un ton, il faut y ajouter deux *dieſes*. En effet le ton de *re* exige deux *dieſes ;* donc, par la même raiſon, le ton de *mi* en exige quatre.

Continuons. Le ton de *fa* exige un *bémol*, celui de *mi* demande quatre *dieſes ;* donc, lorſqu'on éleve l'air d'un demi-ton, il faut lui ajouter cinq *bémols*, car le *bémol* étant un *dieſe* négatif, il eſt évident qu'il faut ajouter aux quatre *dieſes* de *mi* un tel nombre de *bémols*, qu'il efface ces quatre *dieſes*, & qu'il reſte encore un *bémol*, ce qui ne peut ſe faire que par cinq *bémols ;* car il faut, en langage analytique, $-5x$ pour que, ajoutées à $4x$, il reſte $-x$.

Par la même raiſon, ſi l'on baiſſe ſa modulation d'un demi-ton, il faut y ajouter cinq *dieſes :* ainſi le ton d'*ut* n'ayant ni *dieſes* ni *bémols*, on trouve pour celui de *ſi* cinq *dieſes* ; ce qui eſt en effet. Baiſſons encore d'un ton pour être en *la ;* il faut ajouter deux *bémols*, comme lorſqu'on monte d'un ton, il faut ajouter deux *dieſes*. Or cinq *dieſes* plus deux *bémols*, ſont la même choſe que cinq *dieſes* moins deux *dieſes*, ou trois *dieſes :* ainſi nous trouvons encore par cette voie, que le ton de *la* exige trois *dieſes*.

Mais, avant que d'aller plus loin, il eſt néceſſaire d'obſerver que tous les tons chromatiques, c'eſt-à-dire inſerés entre ceux de l'échelle diatonique naturelle, peuvent être conſidérés comme

*dieſes* ou *bémols*; car il eſt évident que *ut* ※ ou *re b* ſont la même choſe. Or il ſe trouve ici une choſe fort ſinguliere; c'eſt que, ſuivant la maniere dont on conſidere cette note, ou comme l'inférieure affectée du *dieſe*, ou la ſupérieure affectée du *bémol*, le nombre des *dieſes* qu'exigeroit le ton de la premiere, par exemple *ut* ※, & celui des *bémols* que demanderoit le ton de la ſeconde, par exemple *re b*, ſont toujours 12; ce qui vient évidemment de la diviſion de l'octave en 12 demi-tons: ainſi *re b* demandant, comme on l'a vu plus haut, cinq *bémols*, ſi, au lieu de ce ton, on le regardoit comme *ut* ※, il faudroit ſept *dieſes*; mais, pour la facilité de l'exécution, il vaut mieux, dans ce cas, regarder ce ton comme *re b* que comme *ut* ※.

On doit faire ce changement toutes les fois que le nombre des *dieſes* excede ſix; enſorte, par exemple, que, comme on trouveroit dans le ton de *la* ※ dix *dieſes*, il faut le nommer *ſi b*, & l'on aura deux *bémols* pour ce ton; parceque deux *bémols* ſont le complément de dix *dieſes*.

Si, au contraire, en ſuivant la progreſſion de demi-tons en deſcendant, on trouvoit un plus grand nombre de *dieſes* que 12, il faudroit en rejeter 12, & le reſtant ſeroit celui du ton propoſé: par exemple, *ut* n'ayant point de *dieſe* ni de *bémol*, on a cinq *dieſes* pour le ſemi-ton inférieur *ſi*; dix *dieſes* pour le ſemi-ton au deſſous, *la* ※; quinze *dieſes* pour le ſemi-ton encore inférieur, *la*: retranchant donc douze *dieſes*, il en reſtera trois, qui ſont en effet le nombre des *dieſes* néceſſaires dans le ton d'*A-mi-la*.

Le ton de *ſol* ※ devra en avoir 8 ou 4 *bémols*, en l'appellant *la b*.

Le ton de *ſol* aura 13 *dieſes*, dont ôtant 12, reſte un ſeul *dieſe*, comme tout le monde ſçait.

Le ton de *fa* ✻ aura donc 6 *dieſes*, ou 6 *bémols* en l'appellant *ſol b.*

Le ton de *fa* devra avoir 6 *bémols* plus 5 *dieſes*, c'eſt-à-dire 1 *dieſe*, les 5 *dieſes* détruiſant autant de *bémols.*

Celui de *mi* aura un *bémol* plus 5 *dieſes*, c'eſt-à-dire 4 *dieſes*, le *bémol* détruiſant un des cinq.

Celui de re ✻ aura 9 *dieſes*, ou 3 *bémols* étant conſidéré comme *mi b.*

Celui de *re* aura 14 *dieſes*, c'eſt-à-dire 2 en en rejetant 12, ou 3 *bémols* plus 5 *dieſes*, qui ſe réduiſent à 2 *dieſes.*

Celui de *ut* ✻ aura 7 *dieſes*, ou 5 *bémols* ſi nous l'appellons *re b.*

Enfin le temps d'*ut* naturel aura 12 *dieſes*, c'eſt-à-dire point, ou 5 *bémols* plus 5 *dieſes*, qui s'anéantiſſent auſſi mutuellement.

On trouveroit préciſément les mêmes réſultats, en allant en montant depuis *ut* de demi-ton en demi-ton, & en ajoutant pour chacun 5 *bémols*, avec l'attention d'en retrancher 12 quand ils excéderoient. Notre lecteur peut s'amuſer à en faire le calcul.

On peut même, en calculant le nombre des demi-tons, ſoit en montant, ſoit en deſcendant, trouver tout de ſuite celui des *dieſes* ou *bémols* d'un ton donné.

Soit pris, par exemple, celui de *fa* ✻; il y a 6 demi-tons depuis *ut* en montant; donc ſix fois 5 *bémols* font 30 *bémols*, dont ôtant 24, multiple de 12, il en reſte 6: ainſi *ſol b* aura 6 *bémols.*

Le même *fa* ✻ eſt de 6 tons au deſſous de *ut*; donc il doit avoir ſix fois 5 ou 30 *dieſes*, dont ôtant

ôtant 24, il reſte 6 *dieſes*, ainſi que nous l'avons trouvé par une autre voie.

Le ton de *ſol* eſt éloigné de 5 demi-tons au deſſous de *ut*; donc il doit avoir cinq fois 5 ou 25 *dieſes*, dont ôtant 24, il reſte un ſeul *dieſe*.

Le même ton eſt de 7 demi-tons plus haut que *ut*; il doit donc avoir ſept fois 5 ou 35 *bémols*, dont ôtant 24, reſtent 11 *bémols*, c'eſt-à-dire un *dieſe*.

Cette progreſſion nous a paru aſſez curieuſe pour être remarquée ici; mais, pour la préſenter ſous un coup d'œil plus clair & plus favorable, nous allons en former une table qui ſera du moins utile pour ceux qui commencent à toucher du claveſſin. Pour cet effet, à chaque ton chromatique, nous le préſenterons ſoit comme diéſé, ſoit comme bémoliſé; & à gauche du premier nous marquerons ſes *dieſes* néceſſaires, comme les *bémols* à droite du ſecond. Ainſi

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 dieſe. | *ut* * | | | 0 bémol. |
| 7 dieſes. | *ut* ※ | ou | *re b** | 5 bémols. |
| 2 dieſes. | *re* * | | | |
| 9 dieſes. | *re* ※ | ou | *mi b** | 3 bémols. |
| 4 dieſes. | *mi* * | | | |
| 11 dieſes. | *fa* * | | | 1 bémol. |
| 6 dieſes. | *fa* ※ | ou | *ſol b** | 6 bémols. |
| 1 dieſe. | *ſol* * | | | |
| 8 dieſes. | *ſol* ※ | ou | *la b** | 4 bémols. |
| 3 dieſes. | *la* * | | | |
| 10 dieſes. | *la* ※ | ou | *ſi b** | 2 bémols. |
| 5 dieſes. | *ſi* * | | | |
| 0 dieſe. | *ut* * | | | 0 bémol. |

Parmi ces tons, nous avons marqué d'un * ceux qu'il eſt d'uſage d'employer; car il eſt aiſé de ſentir qu'en employant *re* ✻ ſous cette forme, on auroit 9 *dieſes*, ce qui donneroit deux notes doublement diéſées, ſçavoir *fa* ✻ ✻, *ut* ✻ ✻; enſorte que la gamme ſeroit *re* ✻, *mi* ✻ ou *fa*, *fa* ✻ ✻ ou *ſol*, *ſol* ✻, *la* ✻, *ſi* ✻ ou *ut*, *ut* ✻ ✻ ou *re*, *re* ✻; ce qui ſeroit d'une difficulté infernale à exécuter: mais en prenant, au lieu de *re* ✻ le *mi b*, on n'a que 3 *bémols*; ce qui ſimplifie beaucoup; & la gamme eſt *mi b*, *fa*, *ſol*, *la b*, *ſi b*, *ut*, *re*, *mi b*.

Nous ſommes tentés de demander pardon à nos lecteurs de les avoir amuſés de cette ſpéculation frivole; mais le titre de ce livre paroît propre à nous excuſer.

## ARTICLE XV.

### *Maniere de perfectionner les Inſtruments à cylindre, & de les rendre capables d'exécuter toutes ſortes d'airs.*

IL n'eſt perſonne, je penſe, qui ignore le mécaniſme de l'Orgue de Barbarie, ou de la Serinette. Tout le monde ſçait que ces inſtruments ſont compoſés de pluſieurs tuyaux, gradués ſelon les tons & demi-tons de l'octave, ou du moins les demi-tons que le progrès de la modulation néceſſite le plus ordinairement; que ces tuyaux ne ſonnent que quand le vent d'un ſoufflet, qui eſt continuellement en action, peut y pénétrer au moyen d'une ſoupape qui ſe leve & ſe ferme; que cette

ſoupape, qui eſt naturellement fermée par un reſſort, s'ouvre au moyen d'un petit levier, que ſoulevent les pointes implantées dans un cylindre qui a un mouvement aſſez lent, lequel lui eſt communiqué par une manivelle; que cette même manivelle fait agir le ſoufflet qui doit fournir continuellement l'air deſtiné à former les ſons, par ſon intromiſſion dans les tuyaux.

Mais la maniere dont le cylindre mobile eſt noté, mérite principalement l'attention, pour ſentir ce que nous allons dire.

Les différents petits leviers qui doivent être élevés pour former les différents tons, étant eſpacés à une certaine diſtance les uns des autres, par exemple à celle d'un demi-pouce, à cette diſtance ſont tracées, ſur la circonférence du cylindre, des lignes circulaires, dont l'une doit porter les pointes qui feront ſonner *ut*; ſa voiſine, celles qui feront ſonner *ut* ※; la ſuivante, celles qui donneront *re*, &c. Il y a autant de lignes ſemblables que de tuyaux ſonores. On ſent, du reſte, que toute la durée de l'air ne doit pas excéder une révolution du cylindre.

Suppoſons donc que l'air ſoit de douze meſures. On diviſe chacune de ces circonférences au moins en douze parties égales, par douze lignes paralleles à l'axe du cylindre; puis, en ſuppoſant, par exemple, que la note la plus courte de l'air ſoit une croche, & que le mouvement ſoit à 3 temps, appellé $\frac{3}{4}$, on diviſe chaque intervalle en ſix parties égales, parceque, dans ce cas, une meſure contient ſix croches. Suppoſons à préſent que les premieres notes de l'air ſoient *la*, *ut*, *ſi*, *re*, *ut*, *mi*, *re*, &c. toutes notes égales, & ſimples noires. On commencera par planter au commencement

de la ligne des *la* & de la premiere mesure, une pointe tellement fabriquée qu'elle tienne soulevé pendant un tiers de mesure le petit levier qui fait sonner *la ;* puis, dans la ligne des *ut*, à la fin de la seconde division, ou au commencement de la troisieme, on implantera encore dans le cylindre une pointe semblable à la premiere ; puis, aux deux tiers de la même mesure, sur la ligne des *si*, on implantera une pareille pointe : il est évident que, lorsque le cylindre commencera à tourner, la premiere pointe fera sonner *ut* pendant un tiers de mesure ; la seconde prendra le levier faisant sonner *ut*, aussitôt que le premier tiers de mesure sera écoulé, & la troisieme fera de même sonner *si* pendant le dernier tiers. L'instrument dira donc *la*, *ut*, *si*, &c.

Si, au lieu de trois noires, on avoit six croches, qui dans cette mesure se passent la premiere longue, la seconde breve, la troisieme longue, & ainsi alternativement, ce qu'on nomme des croches pointées, il est aisé de sentir qu'après avoir placé les pointes de la premiere, troisieme & cinquieme notes dans leurs places respectives de la division où elles doivent être, il faudra seulement faire ensorte que la premiere croche, qui dans ce mouvement doit valoir une croche & demie, ait la tête figurée de maniere qu'elle soutienne le levier pendant une partie & demie des six divisions dans lesquelles la mesure est partagée ; ce qui se fait par une queue en arriere, de la longueur nécessaire. Quant aux croches passées breves, leurs pointes devront être reculées d'une demi-division, & figurées ensorte qu'elles ne puissent tenir le levier qui leur correspond soulevé, que pendant qu'une demi-division du cy-

lindre s'écoule en tournant. Il eſt aiſé, par ces exemples, de voir ce qu'il y a à faire dans les autres cas, c'eſt-à-dire lorſque les notes ont d'autres valeurs.

On n'auroit enfin qu'un ſeul air, ſi le cylindre étoit immobile dans la direction de ſon axe; mais ſi l'on conçoit que les pointes ne puiſſent faire mouvoir les petits leviers qu'autant qu'ils les toucheront par deſſous dans un intervalle fort étroit, comme d'une ligne ou moins, ce qui eſt un mécaniſme fort aiſé à imaginer, on verra facilement qu'en donnant au cylindre un petit mouvement latéral d'une ligne, aucune des pointes ne pourra faire mouvoir les leviers: ainſi l'on pourra tirer à côté de chacune des premieres lignes, une autre ſuſceptible de recevoir des pointes qui donneront un air différent; & ce nombre pourra aller à ſix ou ſept, ſuivant l'intervalle des premieres lignes, qui eſt le même que celui du milieu d'une touche au miſieu de ſa voiſine: on fera, par ce moyen & par un petit mouvement du cylindre, changer d'air.

Tel eſt le mécaniſme de la Serinette, de l'Orgue de Barbarie, & des autres inſtruments à cylindre; mais l'on voit qu'ils ont l'incommodité de ne ſervir qu'à exécuter un très-petit nombre d'airs. Or un cercle de cinq, ſix, huit ou douze airs, eſt bientôt parcouru; il ſeroit conſéquemment agréable d'en pouvoir changer quand on voudroit.

Nous concevons avec M. Diderot, qui s'eſt occupé de cette idée dans le livre cité plus haut, que l'on pourroit remplir cet objet, en formant le cylindre de cette maniere. Il ſeroit d'abord compoſé d'un noyau ſolide de bois, recouvert d'une pelote fort ſerrée; cette pelotte ſeroit elle-

même emboîtée dans un cylindre creux, d'une ligne ou environ d'épaiſſeur; ce ſeroit ce cylindre qui porteroit les lignes ſur leſquelles doivent être implantées les pointes convenables pour faire ſonner chaque ton. Pour cet effet, ces lignes ſeroient percées de trous eſpacés à la diſtance convenable, par exemple, ſix à chaque diviſion de meſure à trois temps ordinaire, ou huit pour la meſure à deux temps, appellée *C barré*, en ſuppoſant qu'on n'eût pas à noter un air ayant de plus courtes notes que de ſimples croches. Il faudroit douze trous par meſure dans le premier cas, & ſeize dans le ſecond, ſi l'air contenoit des doubles croches.

Il eſt maintenant aiſé de ſentir qu'on pourra noter ſur ce cylindre l'air qu'on voudra; car, pour en noter un, il ſuffira d'enfoncer dans les trous du cylindre extérieur, les pointes de la longueur convenable, en les plaçant ainſi qu'on l'a expliqué: elles y ſeront ſolidement implantées, par un effet de l'élaſticité du couſſin ou pelote, fortement comprimé entre le cylindre & le noyau. Sera-t-on las d'un air, on en arrachera les pointes, & on les replacera dans les caſſetins d'une caſe faite exprès, comme les lettres d'une impreſſion qu'on décompoſe. On fera faire un léger mouvement de rotation au cylindre, pour écarter les trous du couſſin d'avec ceux du cylindre extérieur; enfin l'on notera un nouvel air avec la même facilité que le premier.

Nous ne parcourrons pas, avec M. Diderot, tous les avantages d'un pareil inſtrument, parceque nous convenons qu'ils ſeront toujours fort médiocres, & à peu près de nulle valeur aux yeux des muſiciens. Il eſt cependant vrai qu'il ſeroit agréable pour ceux qui poſſedent de ſemblables

inſtruments, de pouvoir varier un peu leurs airs; & c'eſt ce que rempliroit la conſtruction qu'on vient d'indiquer.

## ARTICLE XVI.

### *De quelques Inſtruments ou Machines de Muſique, remarquables par leur ſingularité ou leur compoſition.*

A La tête de toutes ces machines ou inſtruments muſicaux, on doit inconteſtablement mettre l'orgue, dont l'étendue & la variété des ſons exciteroit bien autrement notre admiration, ſi cet inſtrument n'étoit pas auſſi commun qu'il l'eſt dans nos égliſes; car, indépendamment de l'artifice qu'il a fallu pour produire les ſons au moyen des touches, quelle ſagacité n'a-t-il pas fallu pour ſe procurer les différents caracteres de ſons qu'on tire de ſes différents jeux, tels que ceux qu'on appelle *voix humaine*, *flûte*, &c ? Auſſi la deſcription complette d'un orgue, ou de la maniere de les conſtruire, eſt elle ſeule la matiere d'un gros volume; & l'on ne peut y voir ſans étonnement la prodigieuſe multitude de pieces dont il eſt compoſé.

Les anciens avoient des orgues hydrauliques, c'eſt-à-dire des orgues dans leſquelles le ſon étoit produit par l'air qu'engendroit le mouvement de l'eau. Ce fut Ctéſibius d'Alexandrie, & Héron ſon diſciple, qui imaginerent ces inventions. Vitruve donne, dans le X^e Livre de ſon Architecture, la deſcription d'un de ces orgues hy-

drauliques, d'après lequel M. Perrault en exécuta un, qu'il dépoſa à la Bibliotheque du Roi, où ſe tenoient alors les aſſemblées de l'Académie royale des Sciences. Cet inſtrument eſt ſans doute peu de choſe, en comparaiſon de nos orgues modernes; mais l'on ne peut s'empêcher d'y reconnoître un mécaniſme qui a ſervi de baſe à celui de nos orgues. S. Jérôme parle avec enthouſiaſme d'un orgue qui avoit douze paires de ſoufflets, & dont le ſon pouvoit s'entendre d'un mille. Il paroît par-là qu'on ne tarda pas de ſubſtituer à la maniere dont Ctéſibius produiſoit l'air, pour remplir ſon réſervoir, une maniere plus ſimple, ſçavoir celle des ſoufflets.

On peut mettre au rang des machines muſicales les plus curieuſes, le joueur de tambour de baſque & le flûteur automate de M. de Vaucanſon, qu'une grande partie de l'Europe a vus avec admiration, vers l'an 1749. Nous ne nous étendrons pas beaucoup ſur la premiere de ces machines, parceque la ſeconde nous paroît incomparablement plus compliquée. Le flûteur automate jouoit pluſieurs airs de flûte, avec toute la préciſion & la juſteſſe du plus habile muſicien: il tenoit ſa flûte de la maniere dont on tient cet inſtrument, & en tiroit des ſons avec la bouche, tandis que les doigts, appliqués ſur les trous, produiſoient les ſons différents, comme cela s'exécute ſur la flûte. On conçoit aſſez facilement, comment les pointes d'un cylindre noté pouvoient ſoulever les doigts en plus ou moins grand nombre, pour produire ces tons; mais ce qui eſt difficile à concevoir, c'eſt la maniere dont étoit exécuté ce mouvement, aſſez difficile à faire, qu'on appelle le coup de langue, & ſans lequel la flûte,

quoiqu'on y inſpire de l'air, reſte muette, ou n'articule point les notes. Auſſi M. de Vaucanſon, ainſi que nous l'avons remarqué précédemment, (p. 109) convient-il que ce mouvement fut, dans cette machine, ce qui lui coûta le plus à trouver & à exécuter. On doit voir ce qu'il en dit, dans un imprimé in-4°, qu'il publia dans le temps ſur ce ſujet.

On a imaginé en Allemagne un inſtrument bien commode pour les compoſiteurs : c'eſt un claveſſin qui, en même temps qu'on exécute, marque & note l'air qu'on a joué. Quel avantage pour un compoſiteur que la chaleur de ſon imagination entraîne, de pouvoir retrouver tout ce qui a ſucceſſivement reçu de ſes doigts une exiſtence fugitive, & dont bien ſouvent il lui ſeroit impoſſible de ſe ſouvenir ! La deſcription de cette machine ſe trouve dans les *Mémoires de Berlin*, ann. 1773, auxquels nous renvoyons.

## ARTICLE XVII.

### *D'un inſtrument nouveau, appellé* HARMONICA.

CE nouvel inſtrument a pris naiſſance en Amérique, & eſt une invention du célebre docteur Francklin, qui en donne la deſcription dans une lettre au P. Beccaria, inſérée dans le recueil de ſes œuvres, imprimé en 1773.

Il eſt aſſez connu que, lorſqu'on fait gliſſer le long du bord d'un verre à boire, un doigt un peu humecté, on en tire un ſon aſſez doux, & que ce ſon varie de hauteur, ſelon la forme, la

grandeur & l'épaiſſeur du verre. On monte ou on baiſſe auſſi le ton, en mettant dans le verre une quantité plus ou moins grande d'eau. Nous apprenons de M. Francklin, qu'un M. Puckeridge, Irlandois, s'aviſa, il y a une vingtaine d'années, de ſe faire un inſtrument de pluſieurs verres ainſi montés à différents tons, & aſſurés ſur un plateau, & de jouer par ce moyen des airs. Ce M. Puckeridge ayant été brûlé dans ſa maiſon avec ſon inſtrument, M. Delaval, de la Société royale de Londres, en fit un autre à ſon imitation, & avec des verres mieux choiſis, dont il fit le même uſage. M. Francklin l'ayant entendu, & ayant été charmé de la douceur de ſes ſons, chercha à le perfectionner, & ſes idées aboutirent à l'inſtrument qu'on va décrire.

Il faut faire ſouffler des verres de différentes grandeurs, d'une forme approchante de l'hémiſphérique, & ayant chacun un gouleau ou col ouvert en ſon milieu. L'épaiſſeur du verre près du bord, doit être tout au plus d'un dixieme de pouce, & cette épaiſſeur doit augmenter par degrés juſqu'au col, qui aura, dans les plus grands verres, un pouce de hauteur, ſur un pouce & demi de largeur en dedans. Quant aux dimenſions des verres, les plus grands pourront avoir neuf pouces de diametre à leur ouverture, & les moindres trois pouces, & ils décroîtront d'un quart de pouce. Il eſt à propos d'en avoir cinq à ſix du même diametre, pour pouvoir les monter plus facilement aux tons convenables; car une différence très-légere ſuffit pour les faire varier d'un ton & même d'une tierce.

Cela fait, on eſſaie ces différents verres, pour en former une ſuite de trois ou quatres octaves

chromatiques. Pour élever le ton, il faut en égriſer le bord du côté du col avec une meule, & les eſſayer de moment en moment, car, quand ils ſont montés trop haut, il n'y a plus de moyen de les baiſſer.

Tous ces verres étant ainſi gradués, il faut les enfiler dans un axe commun. Pour cet effet, on place dans le col de chacun un bouchon de liege fort juſte, qui le déborde d'environ un demi-pouce: on perce tous ces bouchons d'un trou de la groſſeur convenable, pour les enfiler tous avec un axe de fer, de meſure telle qu'on ne ſoit pas obligé de l'y faire entrer avec trop de force; ce qui feroit éclater les cols de ces verres. Ils ſont ainſi placés l'un dans l'autre, enſorte que leurs bords ſont éloignés d'environ un pouce; ce qui eſt à peu près la diſtance des milieux des touches du claveſſin.

Une des extrémités enfin de cet axe, eſt garnie d'une roue d'environ dix-huit pouces de diametre, qui doit être chargée de vingt à vingt-cinq livres, pour conſerver quelque temps le mouvement qui lui ſera imprimé; cette roue eſt miſe en mouvement au moyen d'une pédale, & par le même mécaniſme qui ſert à faire tourner la roue d'un rouet à filer; & en tournant, elle fait tourner l'axe des verres & les verres eux-mêmes, cet axe portant ſur deux collets, l'un à ſon extrémité, l'autre à quelques pouces de la roue. Le tout peut être enfermé dans une boîte de la forme convenable, & ſe poſe ſur une table propre, à quatre pieds.

Les verres répondants aux ſept tons de l'octave diatonique, peuvent être peints des ſept couleurs du priſme, dans leur ordre, & même cela eſt à propos, afin de reconnoître au premier coup

d'œil les différents tons auxquels ils répondent.

Pour jouer de cet inſtrument, on s'aſſied au devant de la rangée des verres, comme au devant des touches d'un claveſſin ; on humecte légérement les verres, & faiſant mouvoir la pédale, on leur donne un mouvement ſur leur axe commun : on applique les doigts ſur les bords, & on en tire des ſons. Il eſt aiſé de voir qu'on peut y exécuter pluſieurs parties, comme ſur le claveſſin.

On a vu à Paris, il y a une huitaine d'années, cet inſtrument dont touchoit une dame Angloiſe. Ses ſons ſont extrêmement doux, & conviendroient fort à l'accompagnement de certains récits, ou airs tendres & pathétiques. On a l'avantage de pouvoir y ſoutenir les ſons autant qu'on le veut, de les filer, de les enfler, &c ; & l'inſtrument, mis une fois d'accord, ne peut plus être déſaccordé. Pluſieurs amateurs de muſique en ont été fort ſatisfaits. J'ai ouï dire ſeulement qu'à la longue le ſon de cet inſtrument paroiſſoit un peu fade, par ſa douceur extrême ; & c'eſt peut-être cette raiſon qui l'a, juſqu'à ce moment, fait reléguer parmi les curioſités muſicales.

# ARTICLE XVIII.

## *De quelques idées bizarres relatives à la muſique.*

1. ON n'imagineroit ſans doute pas qu'on pût compoſer un air ſans ſçavoir un mot de muſique, du moins de la compoſition. On a donné ce ſecret, il y a quelques années, dans un petit livre intitulé, *Le Jeu de Dez harmonique*, ou *Ludus melothedicus*, contenant pluſieurs calculs par leſquels toutes perſonnes peuvent compoſer divers menuets avec l'accompagnement de baſſe, même ſans ſçavoir la muſique; in-8°, Paris, 1757. On y enſeigne comment, avec deux dez jetés au haſard, & d'après les points qu'ils donnent, on peut, au moyen de certaines tables, compoſer un menuet & ſa baſſe.

Le même auteur a auſſi donné une méthode pour faire la même choſe au moyen d'un jeu de cartes. Nous n'avons pu recouvrer le titre de cet ouvrage; & nous avouerons n'avoir pas cru devoir y mettre plus d'importance que l'auteur lui-même.

Nous nous bornons à indiquer les ſources où l'on peut recourir pour cette ſorte d'amuſement, dont la combinaiſon a dû coûter beaucoup plus de travail que la choſe ne le méritoit. Nous remarquerons cependant encore, que cet auteur a donné un autre ouvrage intitulé, *Invention d'une Manufacture & Fabrique de Vers au petit métier*, &c. in-8°, 1759; dans lequel, par le moyen de

deux dez & de certaines tables, on enſeigne à répondre en vers latins à des queſtions propoſées. C'eſt, il faut en convenir, bien du travail en pure perte.

2. Il y a quelques années qu'un médecin de Lorraine publia un petit traité, dans lequel il appliquoit la muſique à la connoiſſance du pouls. Il repréſentoit le battement d'un pouls bien réglé par un mouvement de menuet ; & ceux des différentes autres eſpeces de pouls, par d'autres meſures plus ou moins accélérées. Si cette maniere de pratiquer la médecine vient à s'introduire, ce ſera une choſe fort agréable de voir un diſciple d'Hippocrate tâtant le pouls d'un malade au ſon d'un inſtrument, & eſſayant des airs analogues par leur mouvement à celui de ſon pouls, pour en reconnoître la qualité. Si toutes les maladies ne fuient pas à la préſence du médecin, il eſt à croire que la mélancolie du moins ne tiendra pas contre une pareille pratique.

*Fin du Tome II.*

Fig. 1.

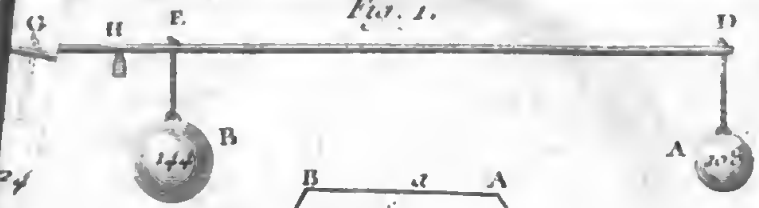
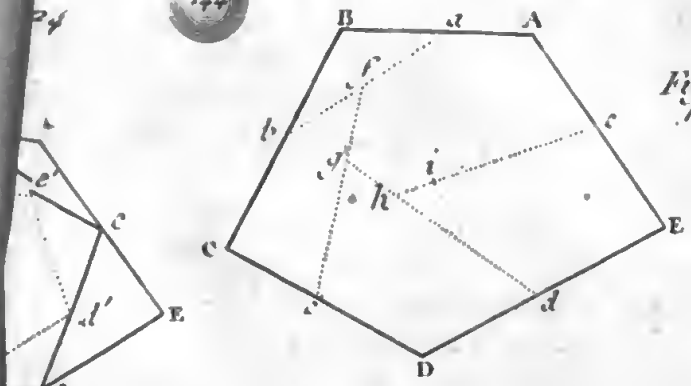



Fig. 2. N° 2



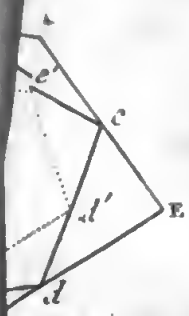
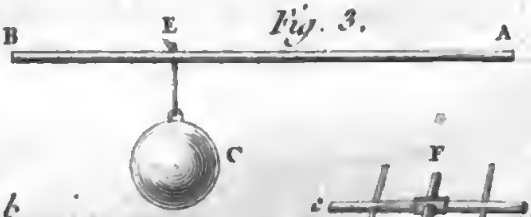




Fig. 3.



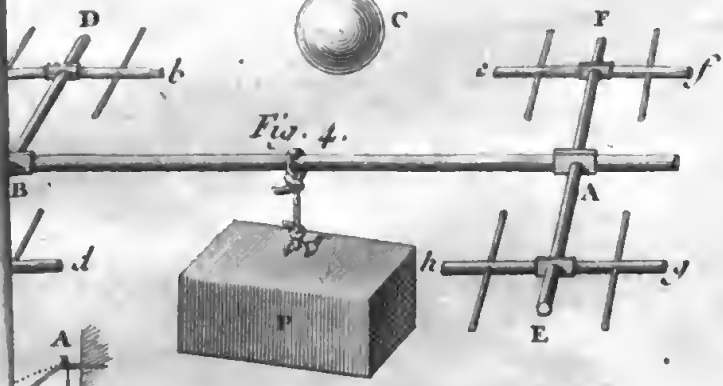
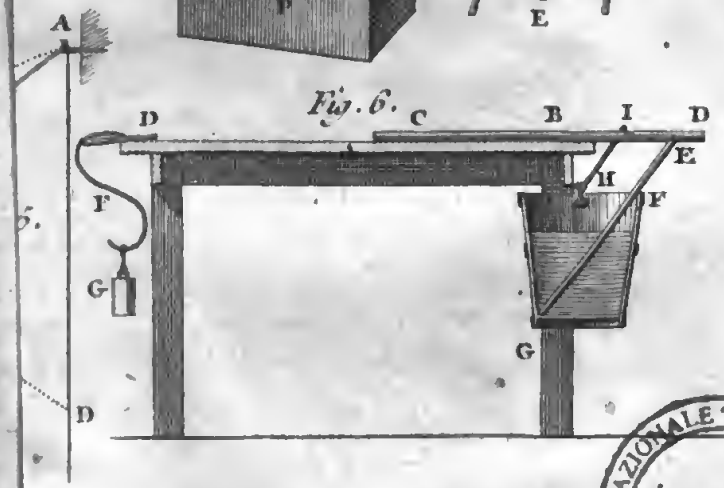




Fig. 4.

Fig. 6.




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Fig. 8.

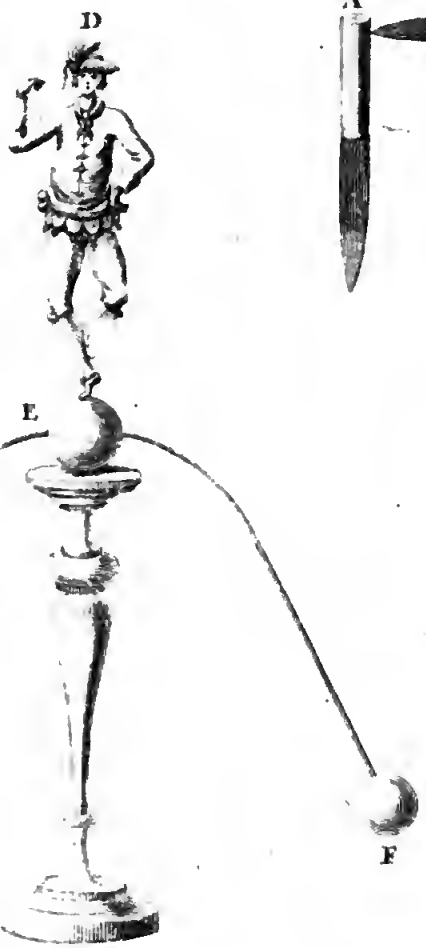



Fig. 9.

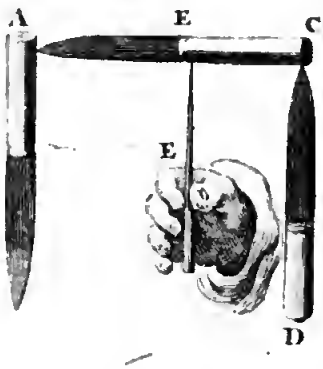
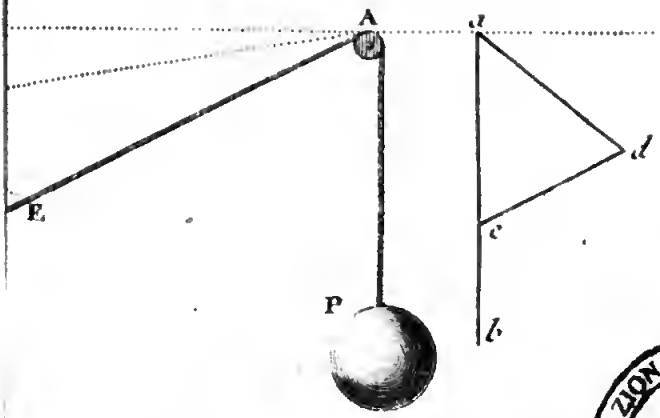



Fig. 10.




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

Fig. 13.

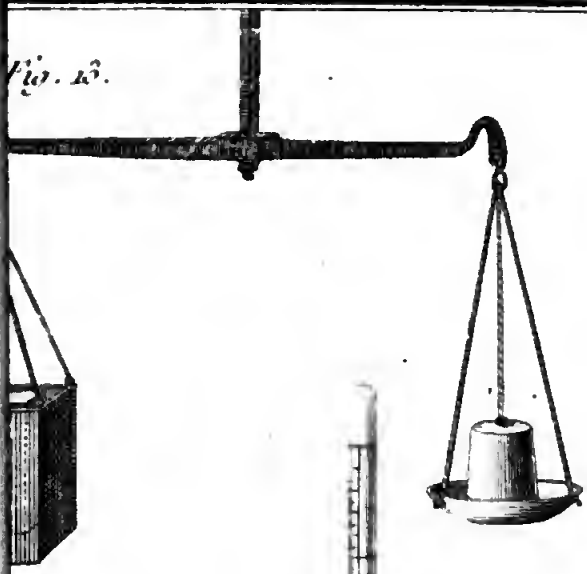


Fig. 12.

Fig. 14.

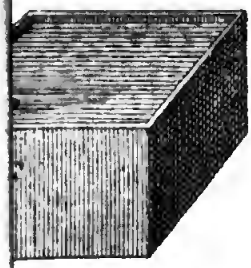


Fig. 15.

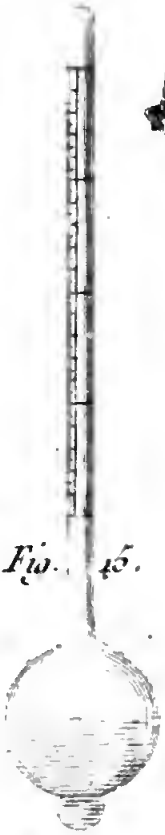


Fig. 16.

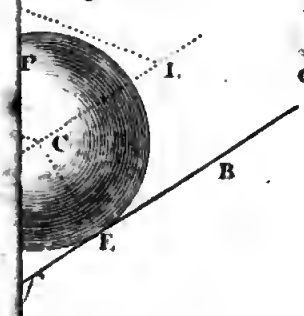
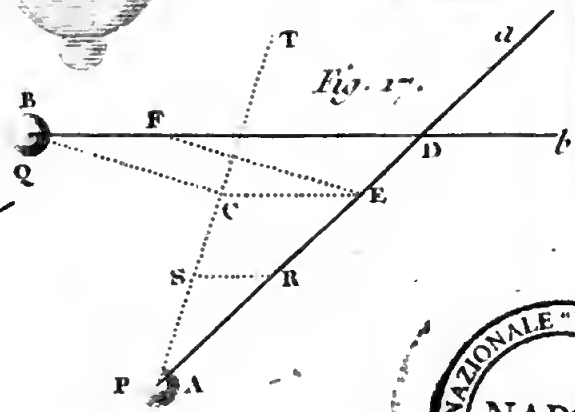
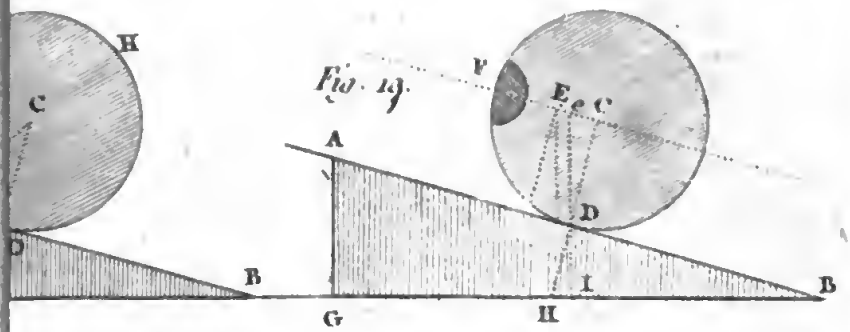
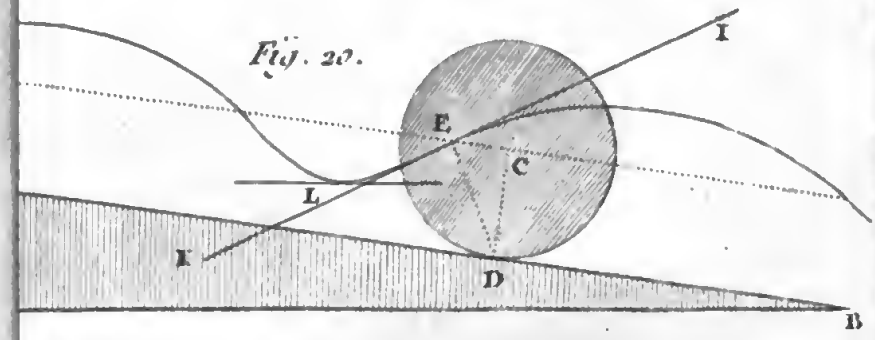


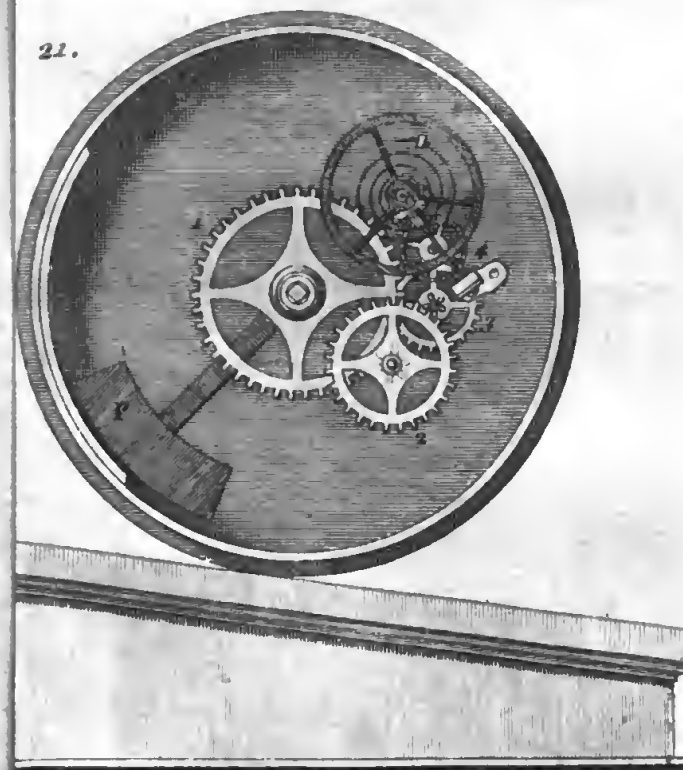

Fig. 17.




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

*Fig. 23.*

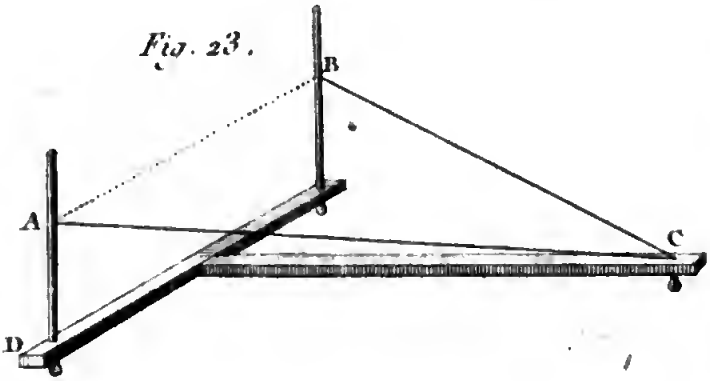



*Fig. 24.*

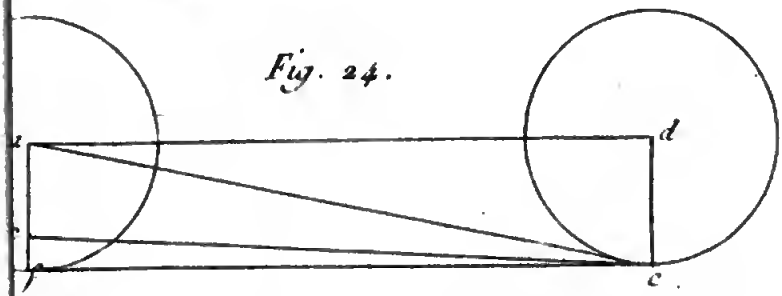



*Fig. 26.*

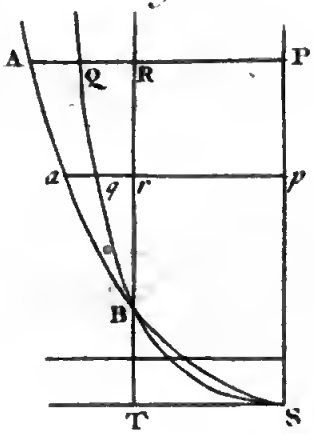
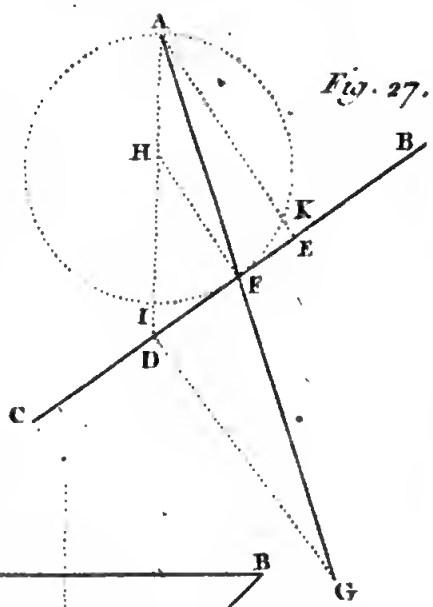



*Fig. 27.*



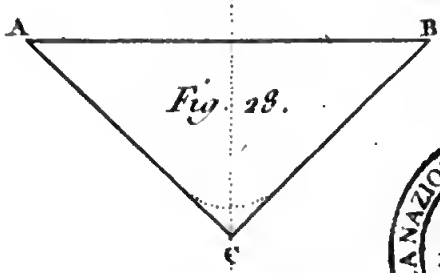




*Fig. 28.*




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

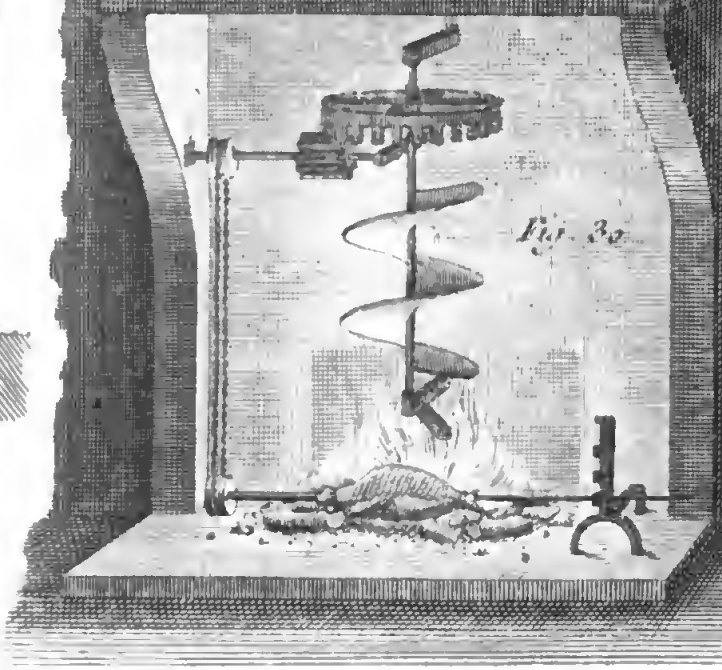


Fig. 31.

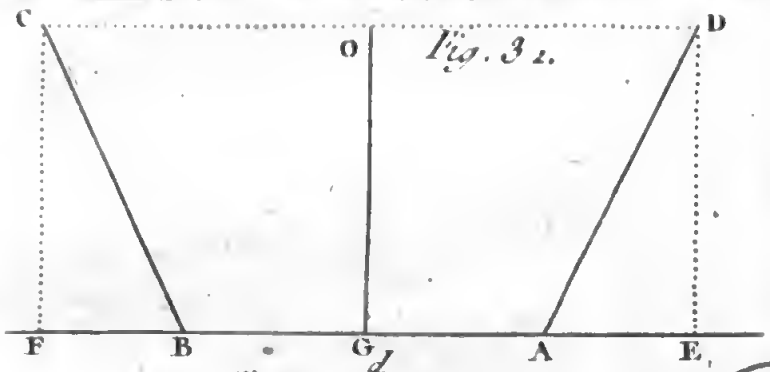
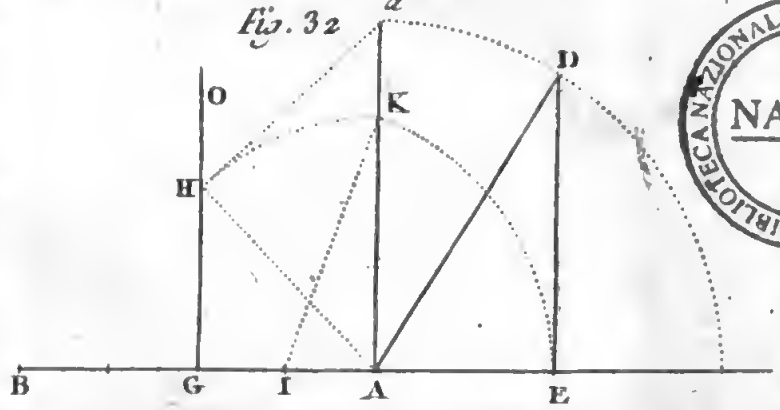



Fig. 32




BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

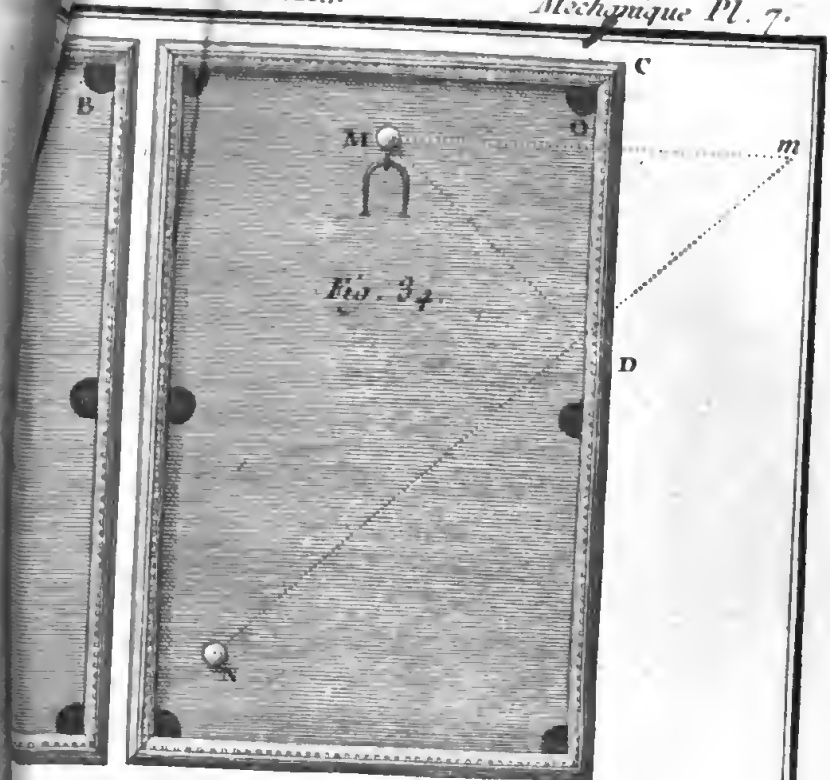



Fig. 34.

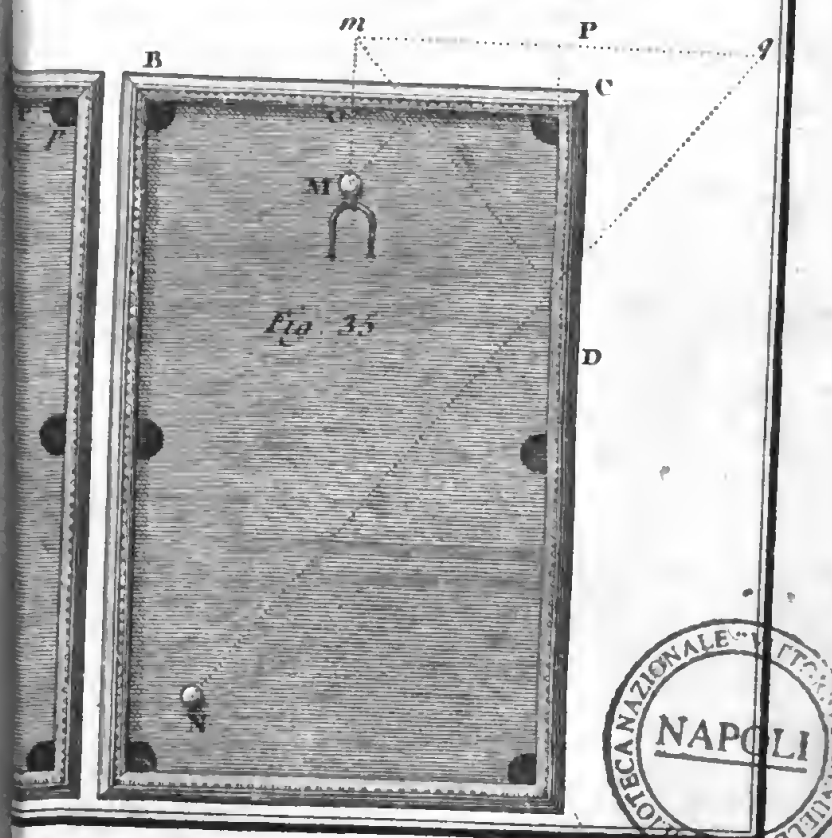



Fig. 35

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

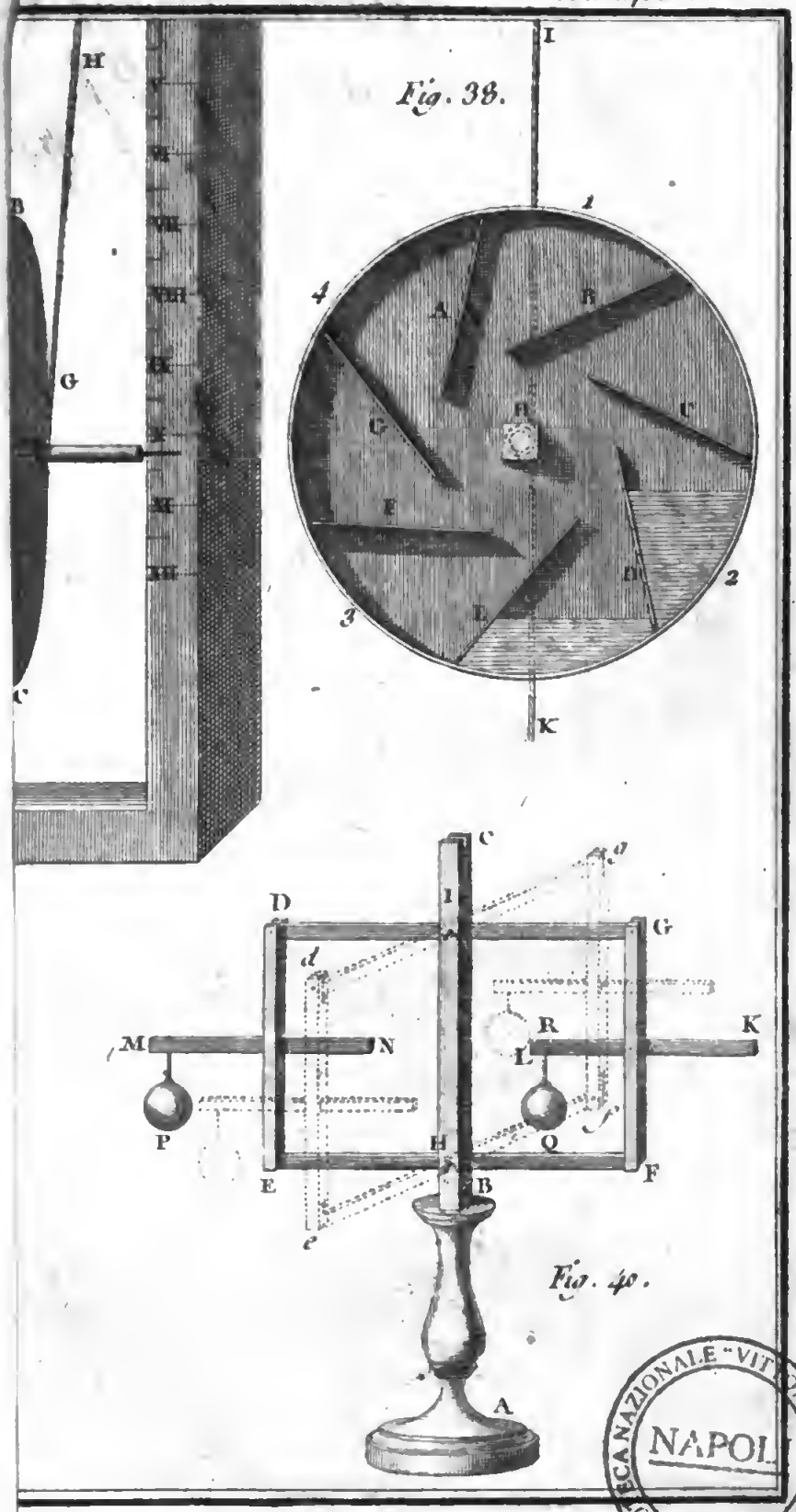



Fig. 38.

Fig. 40.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

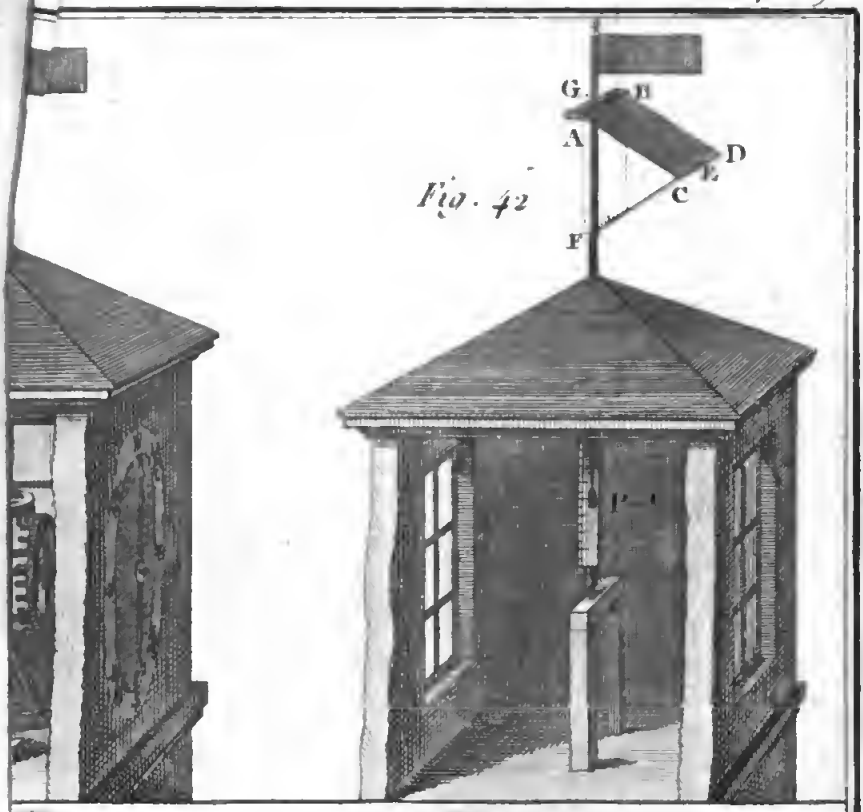



Fig. 42

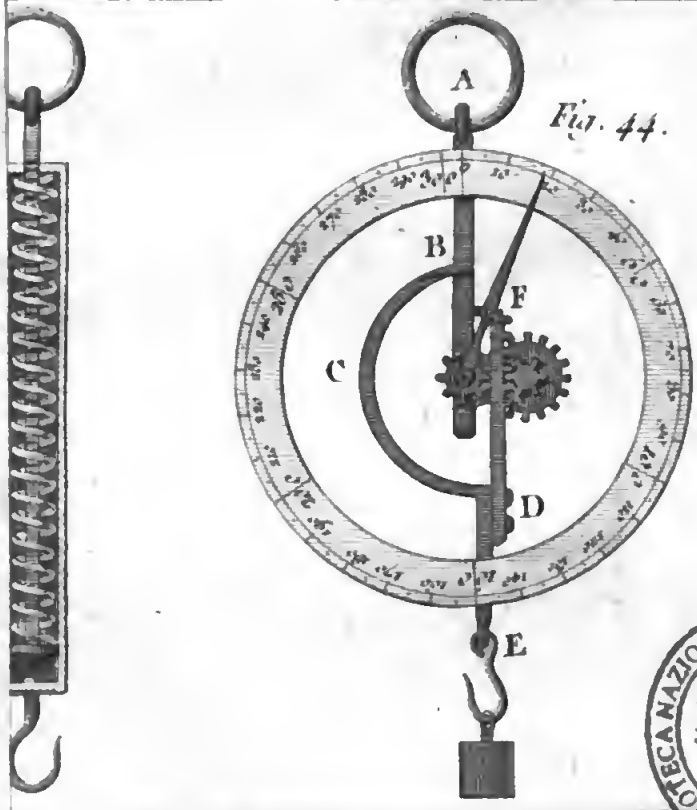
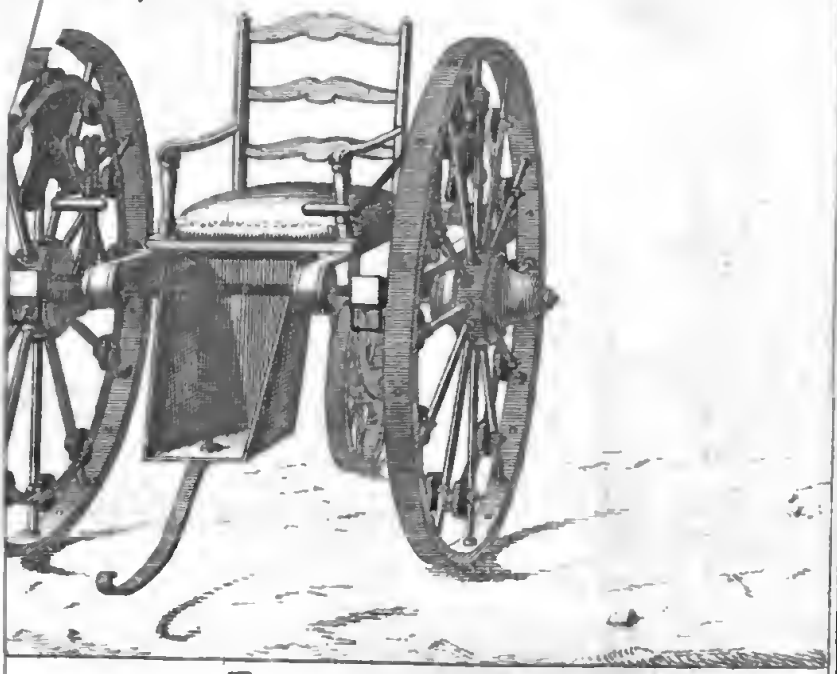
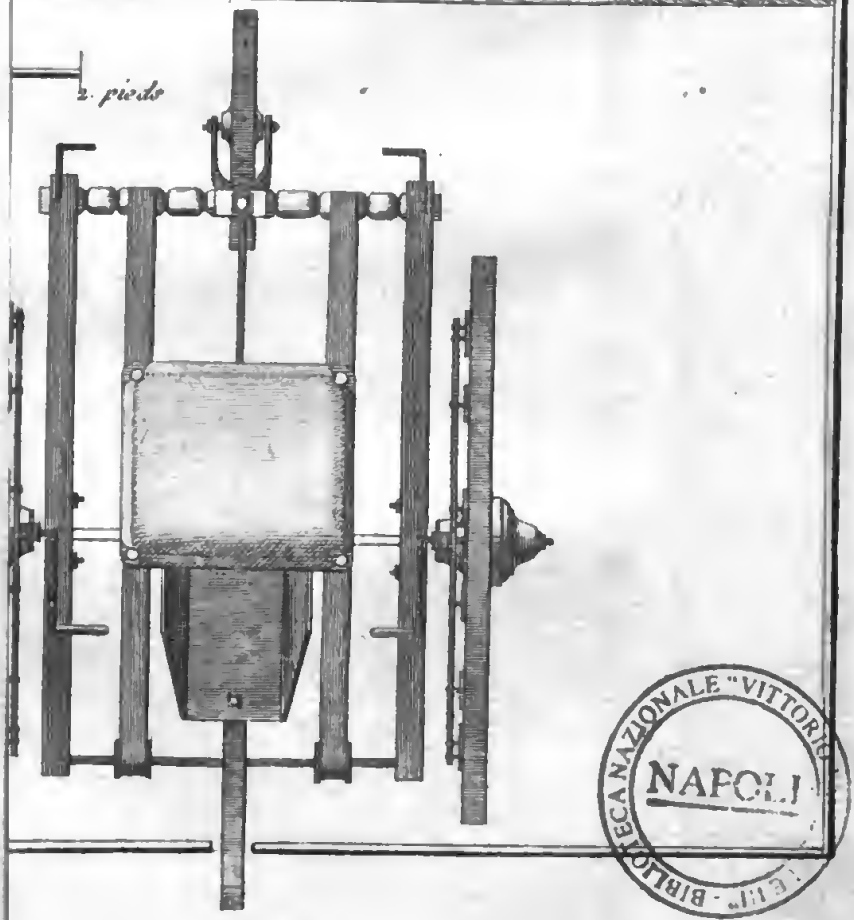



Fig. 44.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

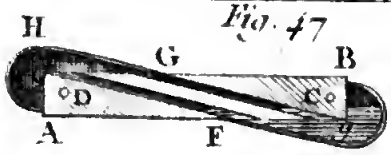
g. 45.






BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO E. III" NAPOLI

Fig. 47

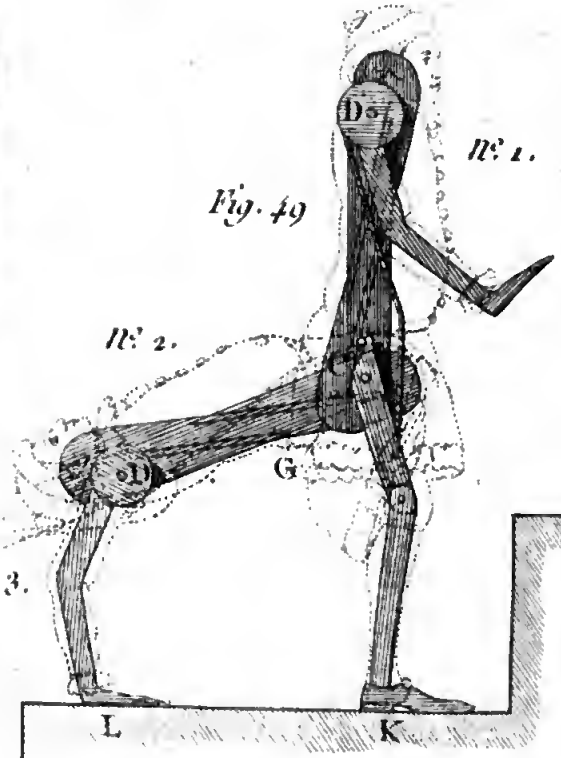



48.

N° 1.

Fig. 49

N° 2.




N° 3.

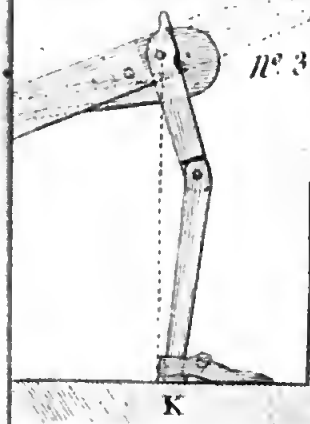



Fig. 51.

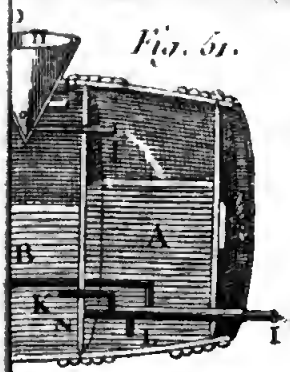
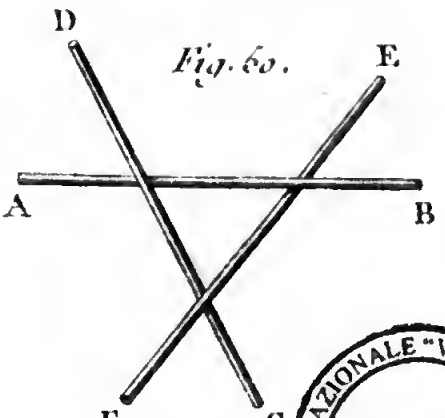



Fig. 60.




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Fig. 53.

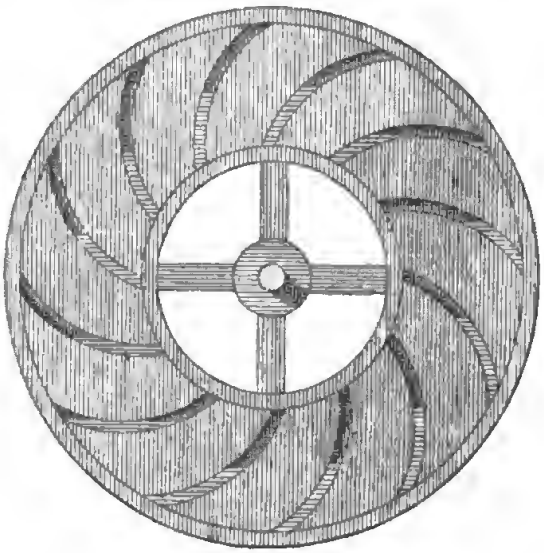
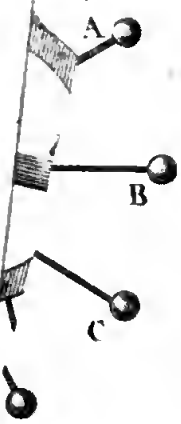
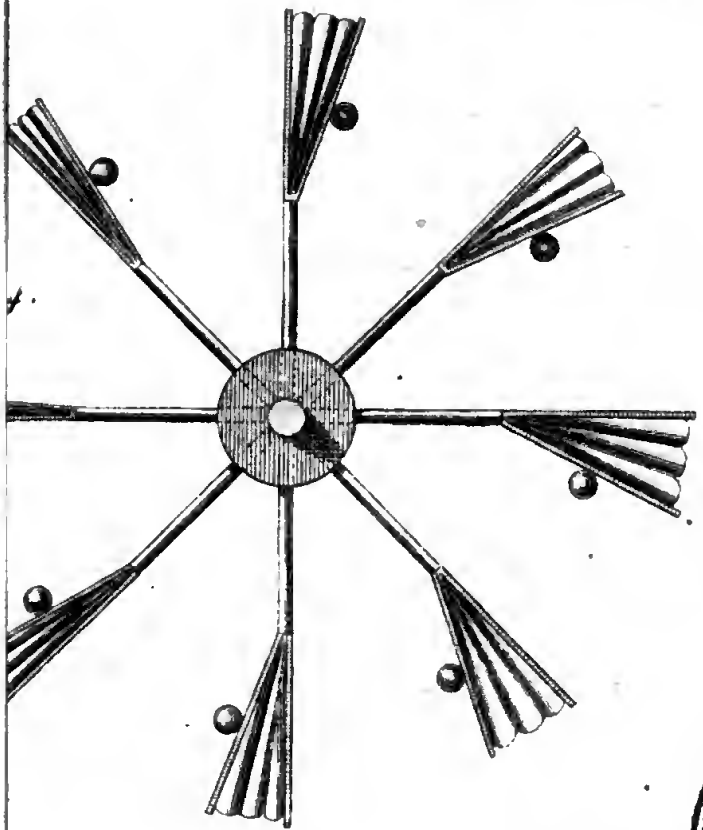


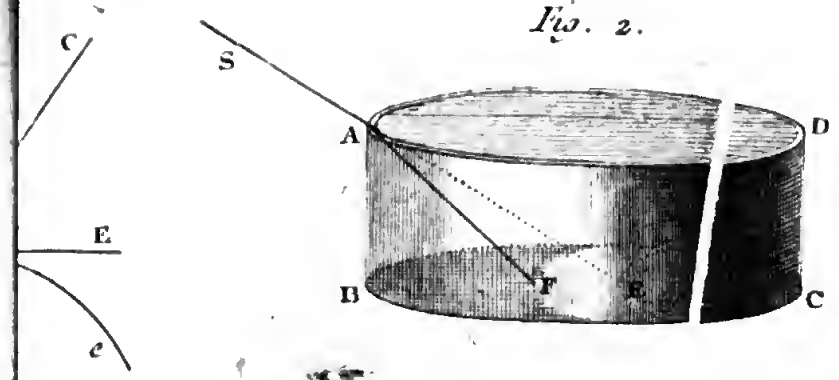
Fig. 5



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Fig. 2.



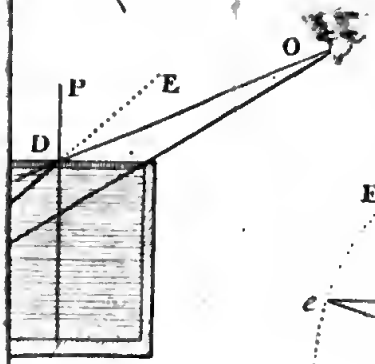
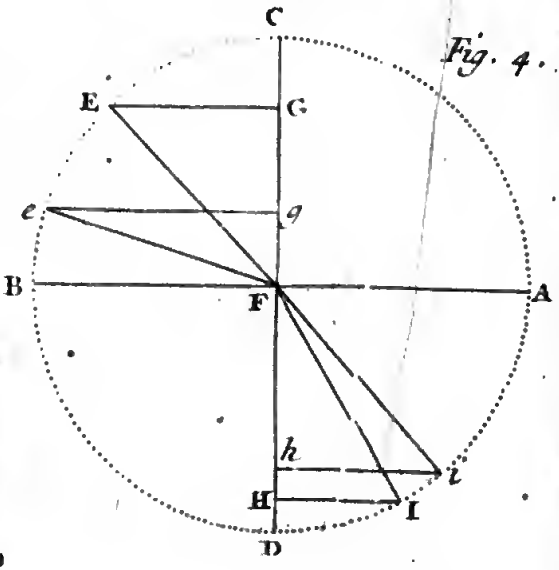
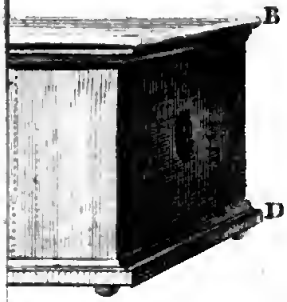




Fig. 4.



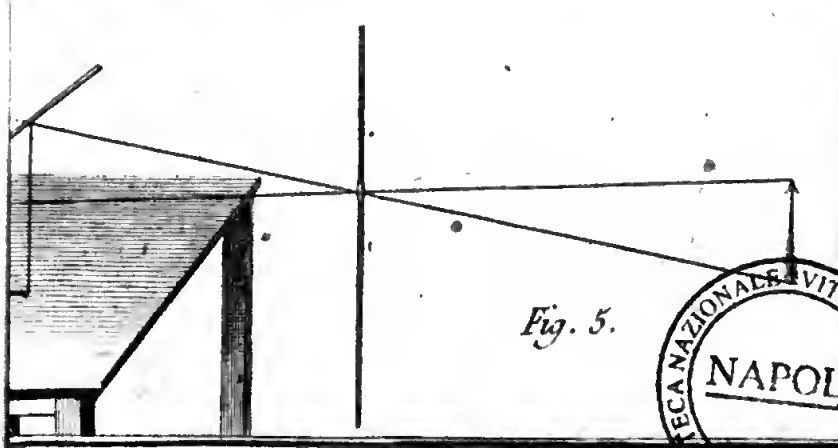
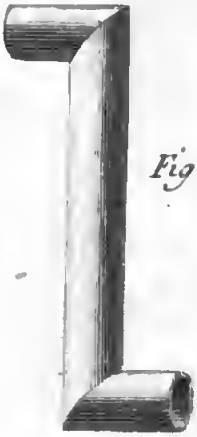



Fig. 5.

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III - NAPOLI

*Fig. 7.*

*Fig. 8.*



NAPOLI

Fig. 9.

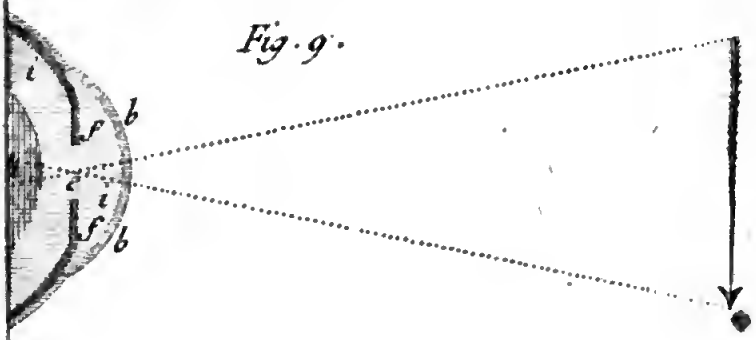
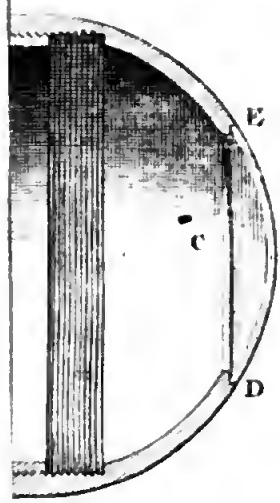



Fig. 10.



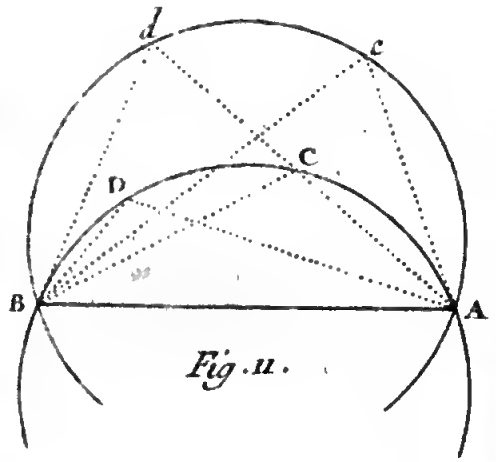
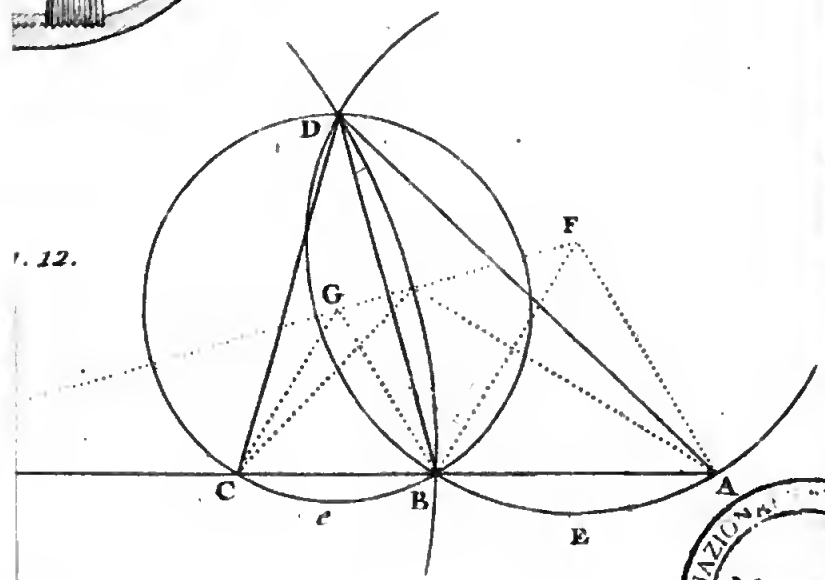




Fig. 11.

Fig. 12.




BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

*Fig. 13.*

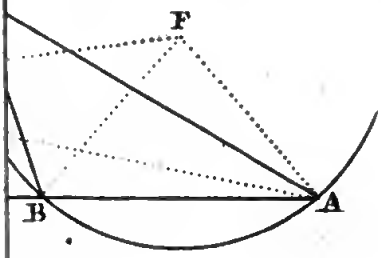
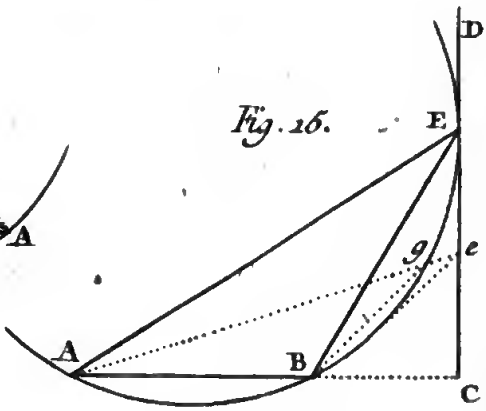
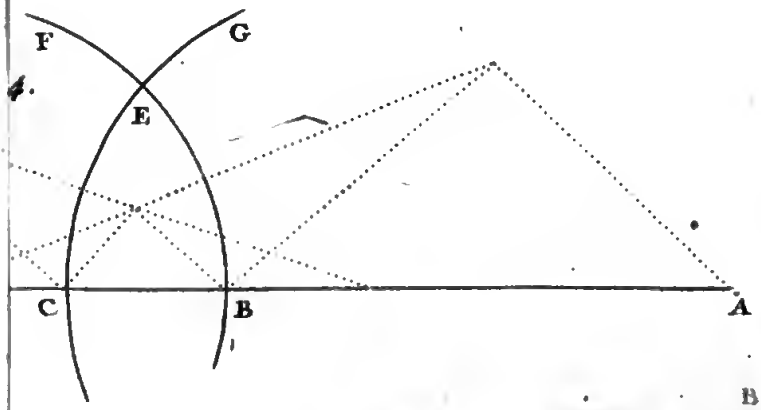



*Fig. 16.*



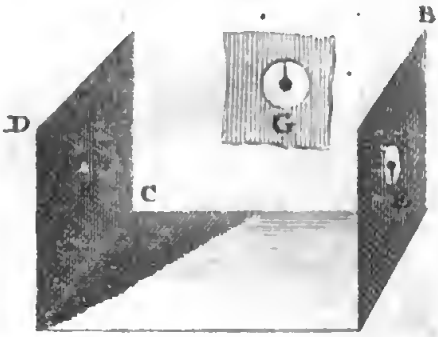




*Fig. 17.*

*Fig. 16.*

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

*Fig. 18.*

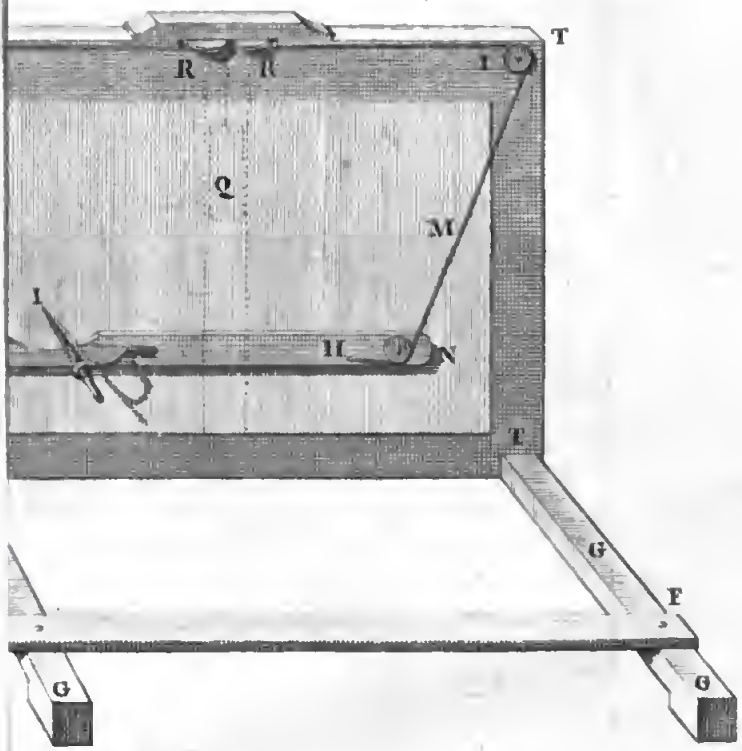
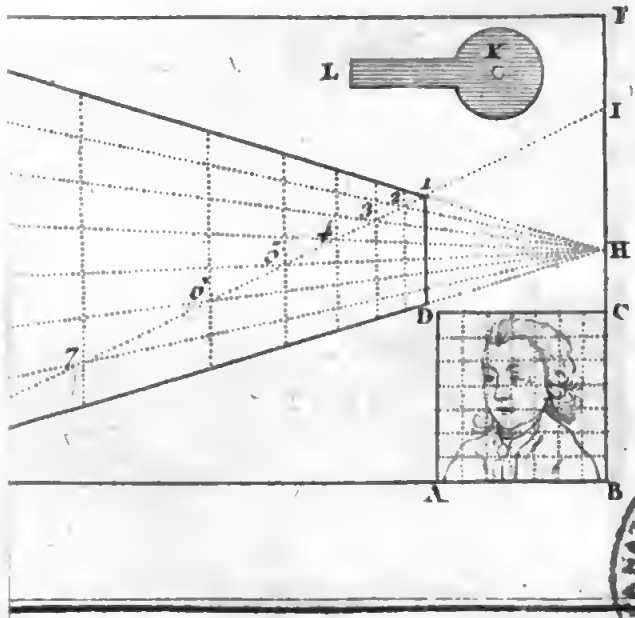



*Fig. 19.*




BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III - NAPOLI

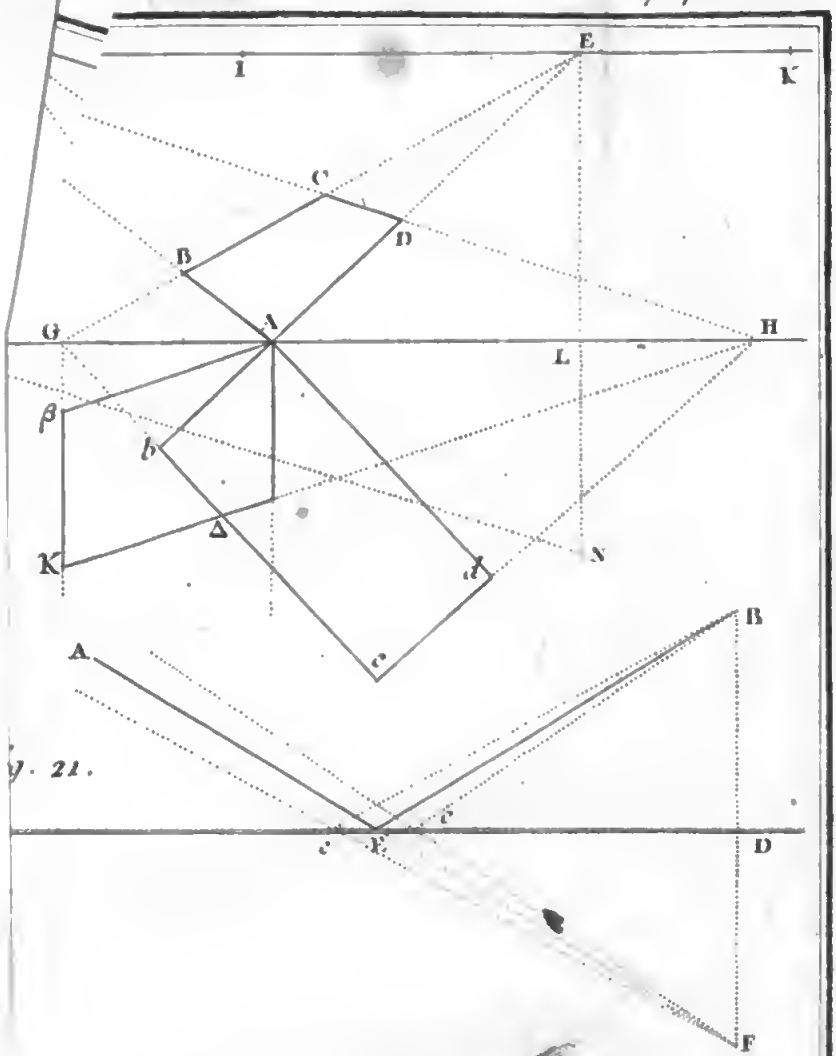
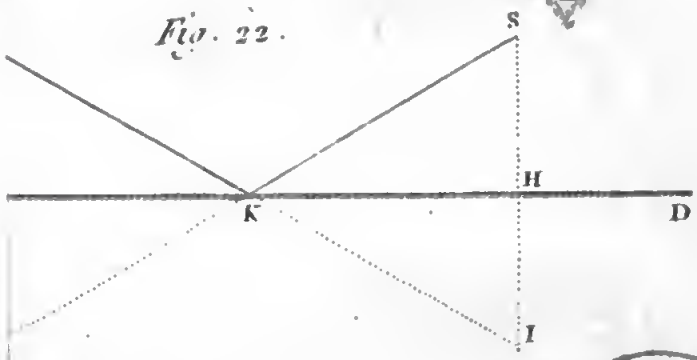



*Fig. 22.*




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

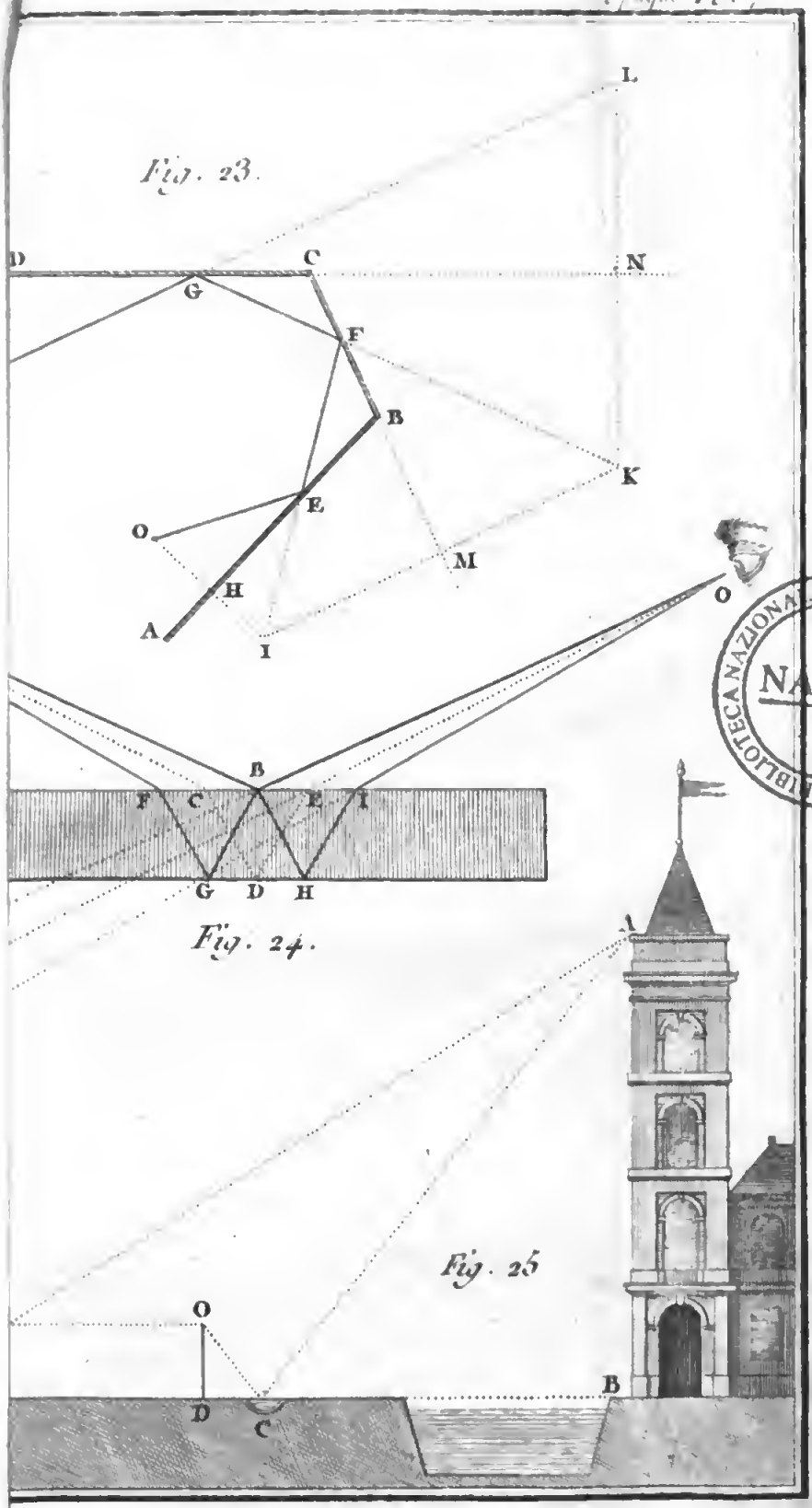



Fig. 23.

Fig. 24.

Fig. 25

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III NAPOLI

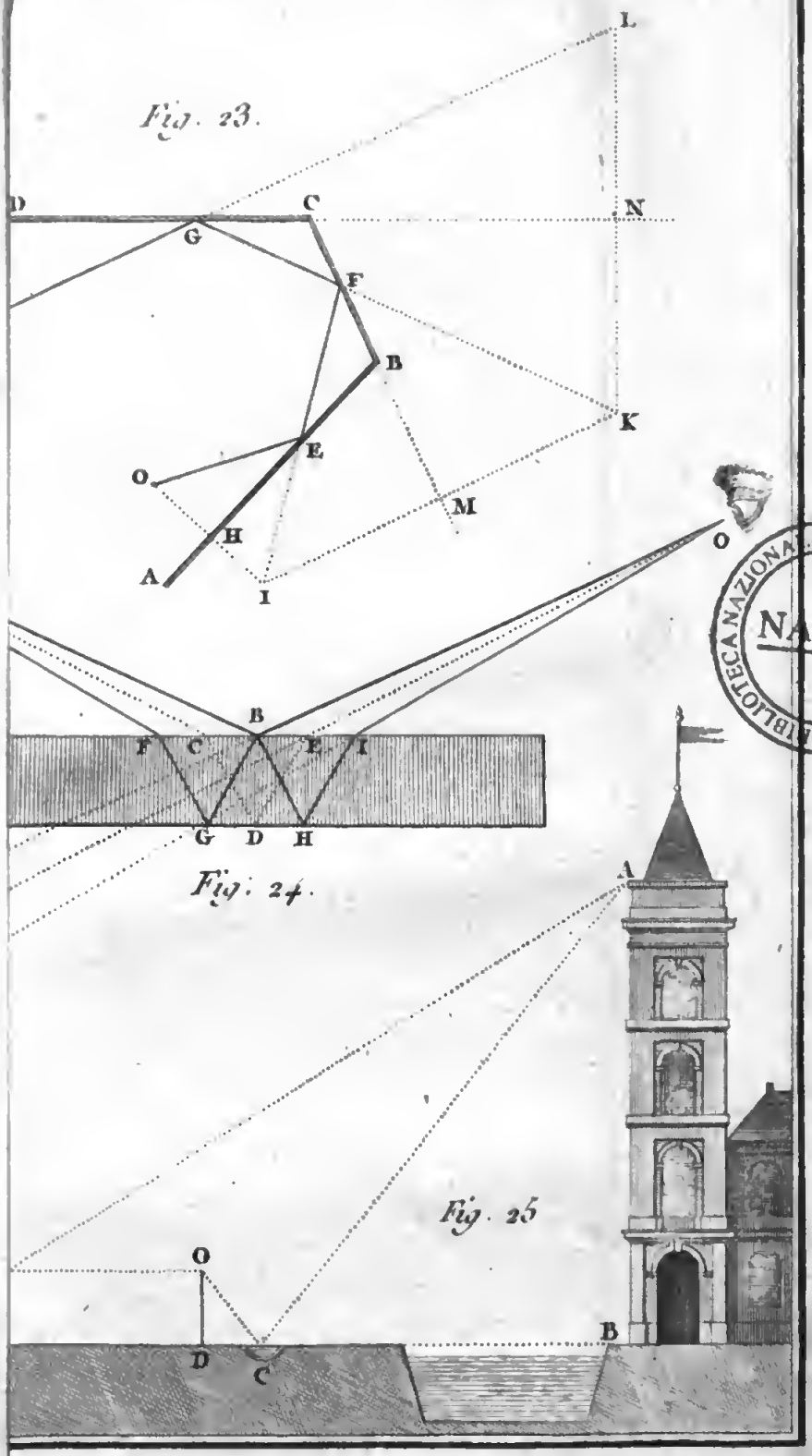



Fig. 23.

Fig. 24.

Fig. 25

BIBLIOTECA NAZIONALE VITT
NAPOLI

Fig. 27.

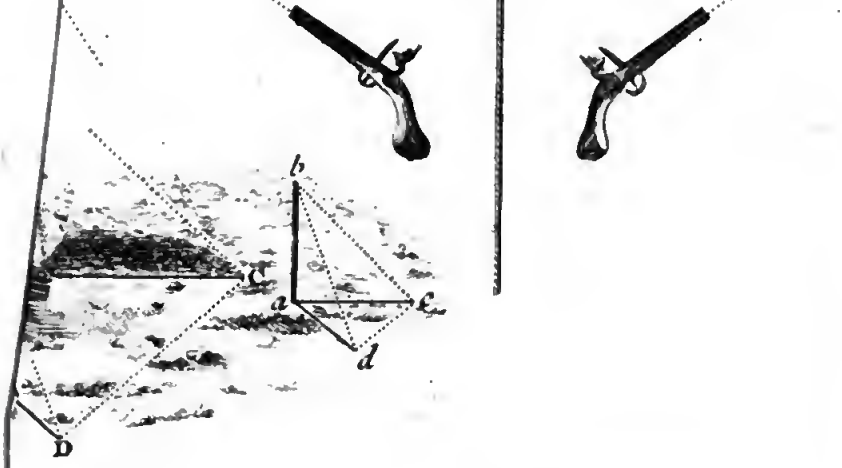
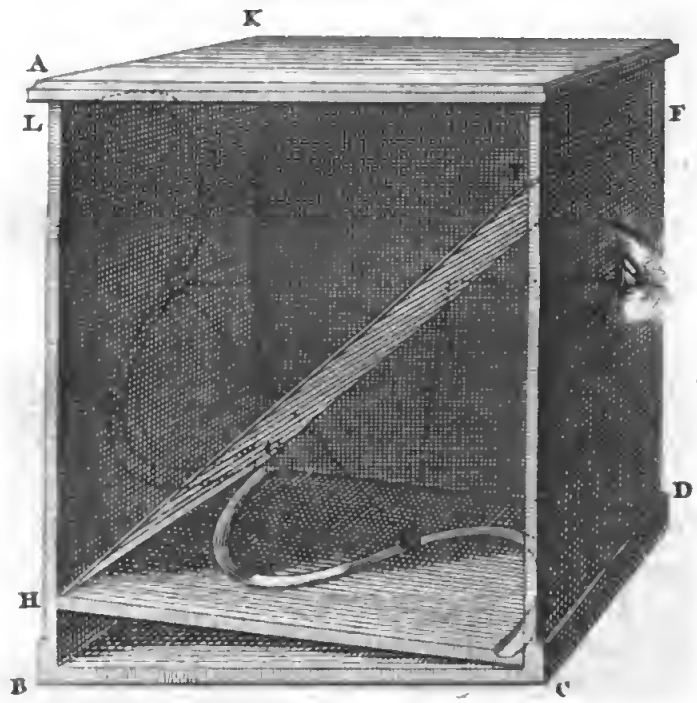



Fig. 28.




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Fig. 31.

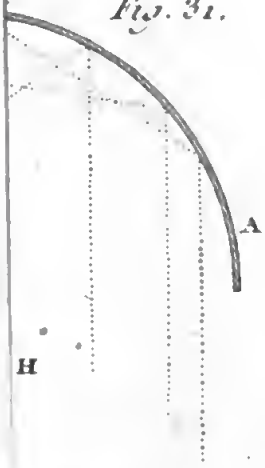



Fig. 30.

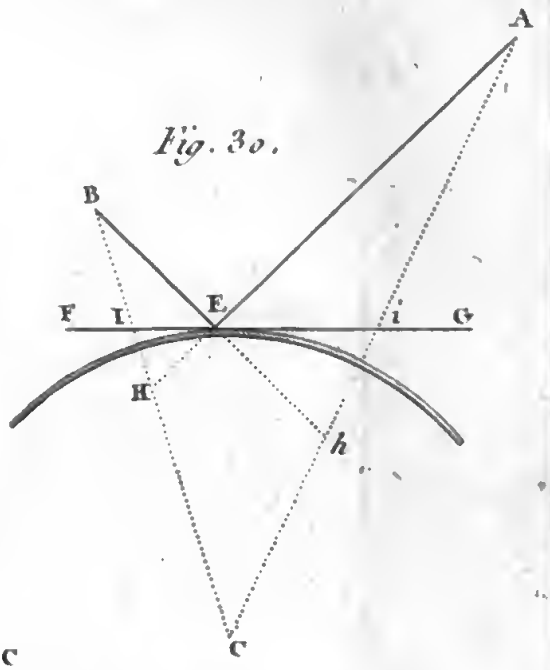



Fig. 32.

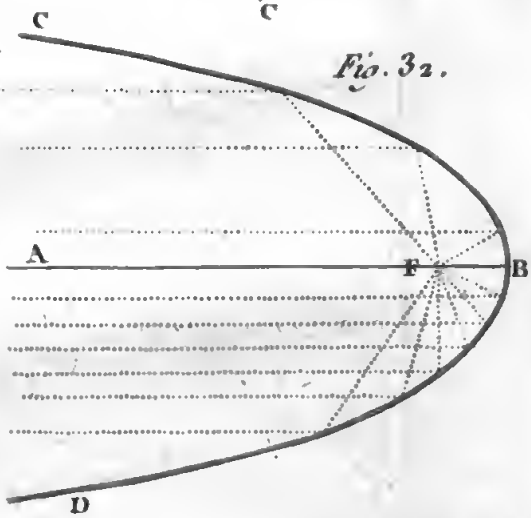



Fig. 34.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

Fig. 36. N° 1.

Fig. 36. N° 3.

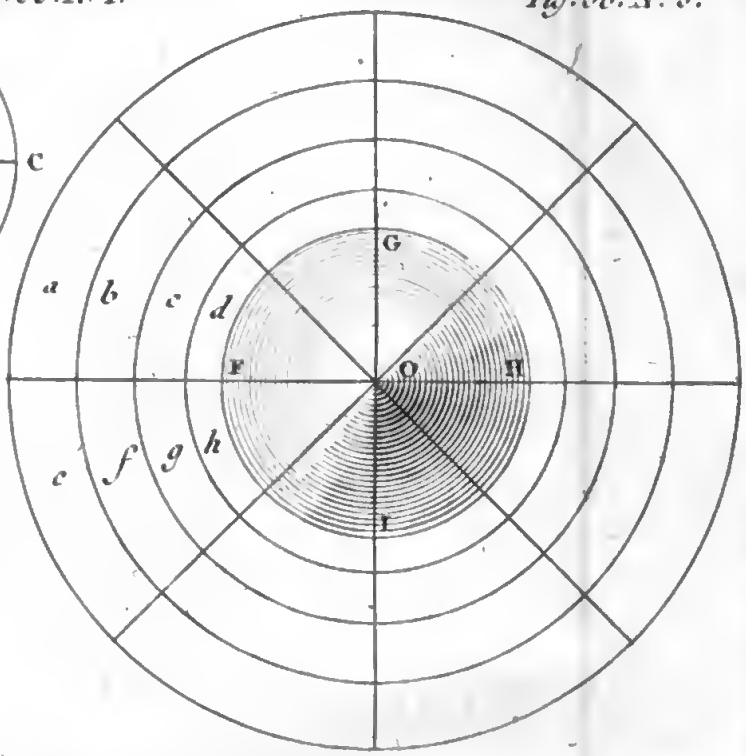
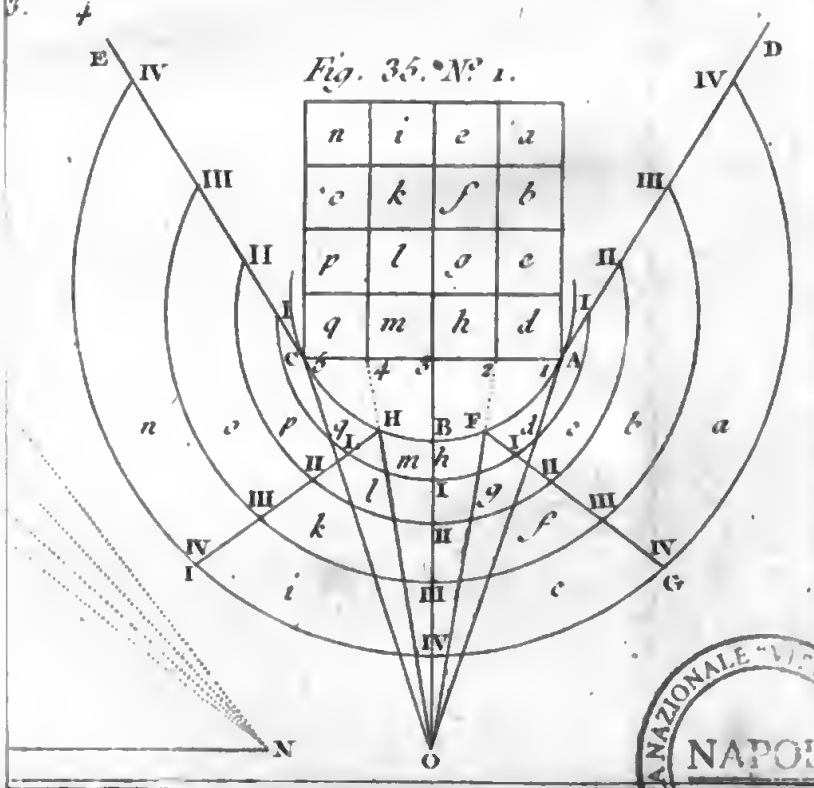
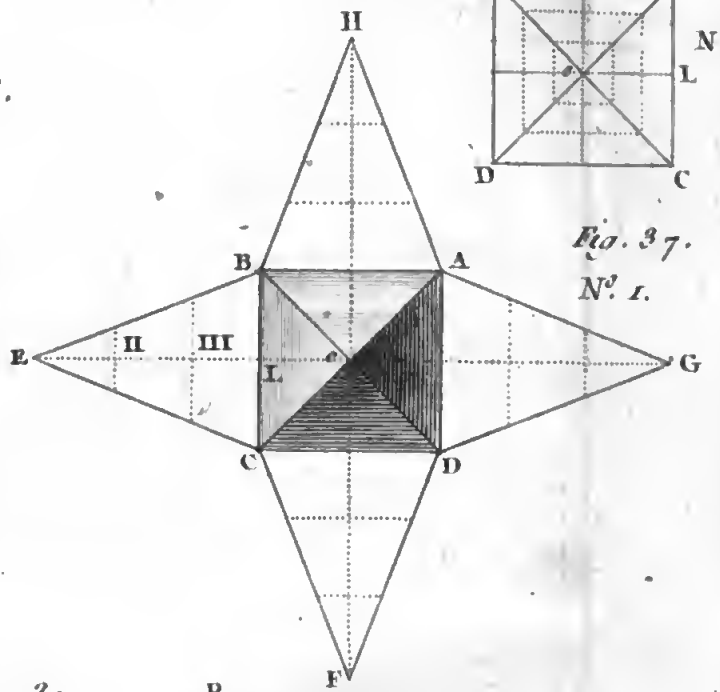



Fig. 35. N° 1.




BIBLIOTECA NAZIONALE NAPOLI

Fig. 38.



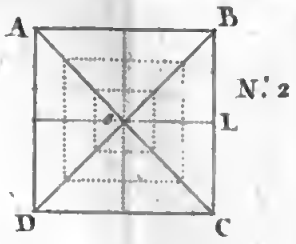




Fig. 37.
N.° 1.

Fig. 39.

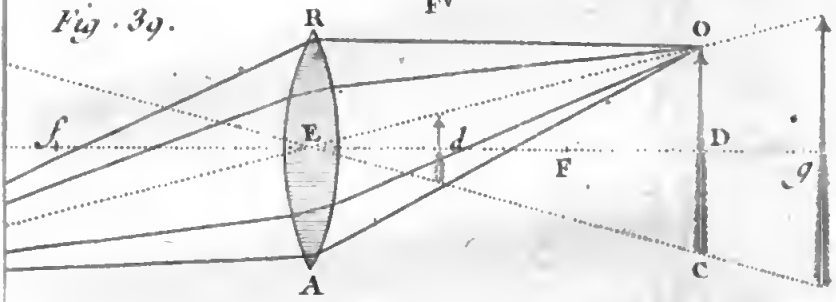



Fig. 40.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

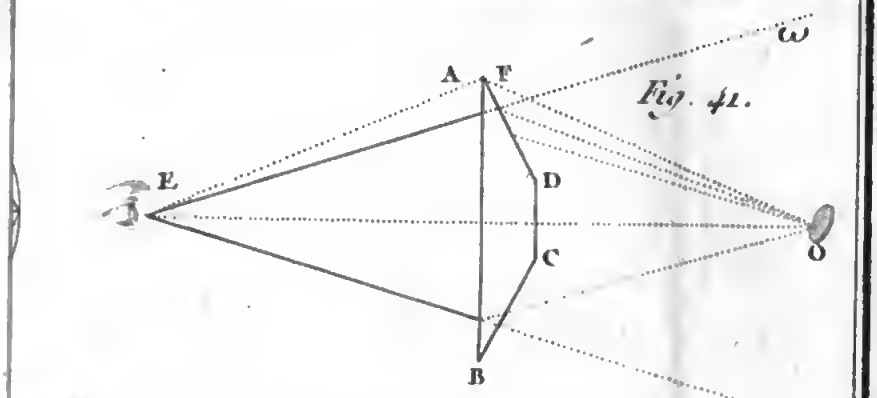



Fig. 41.

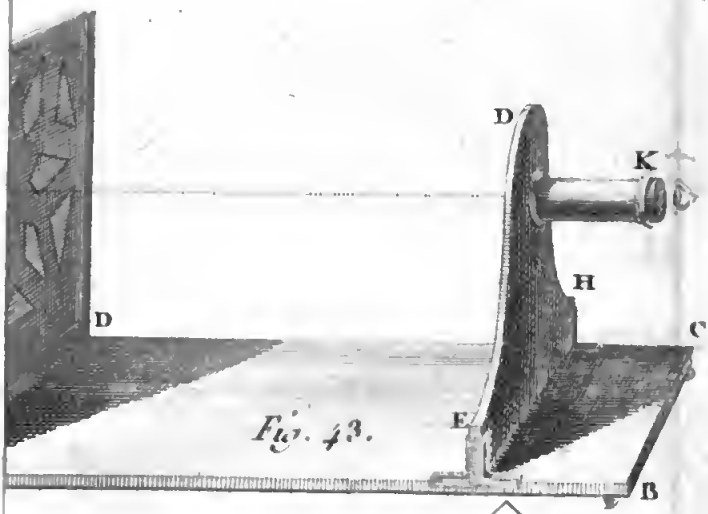
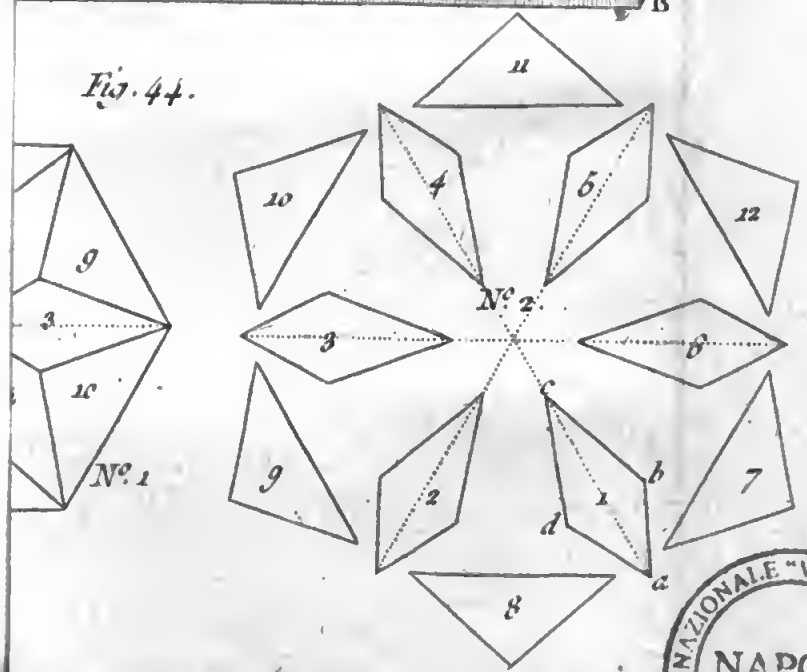



Fig. 43.

Fig. 44.




BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

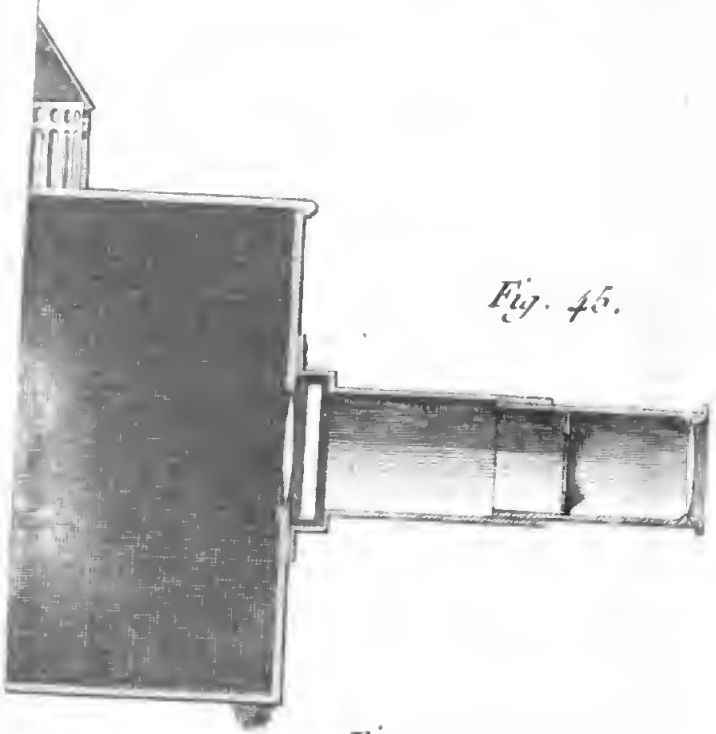
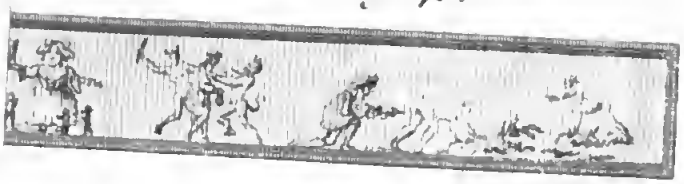


Fig. 45.

Fig. 46.



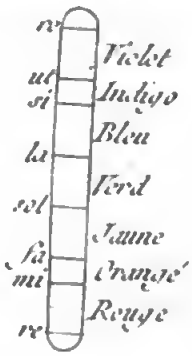
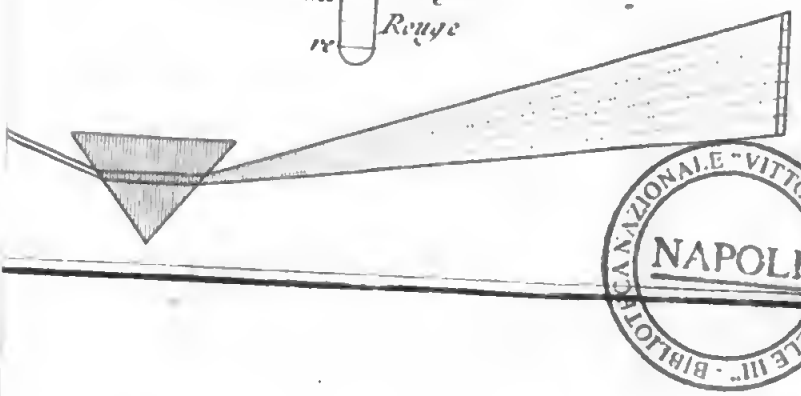



Fig. 47.



BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" - NAPOLI

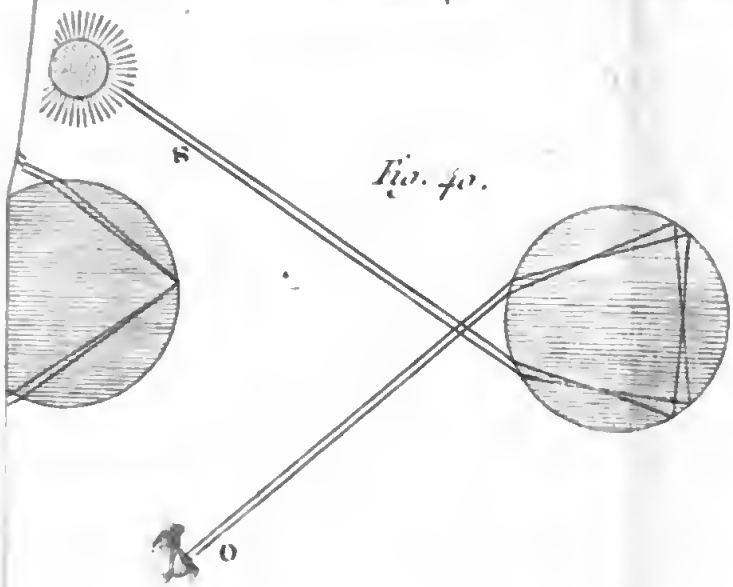



Fig. 40.

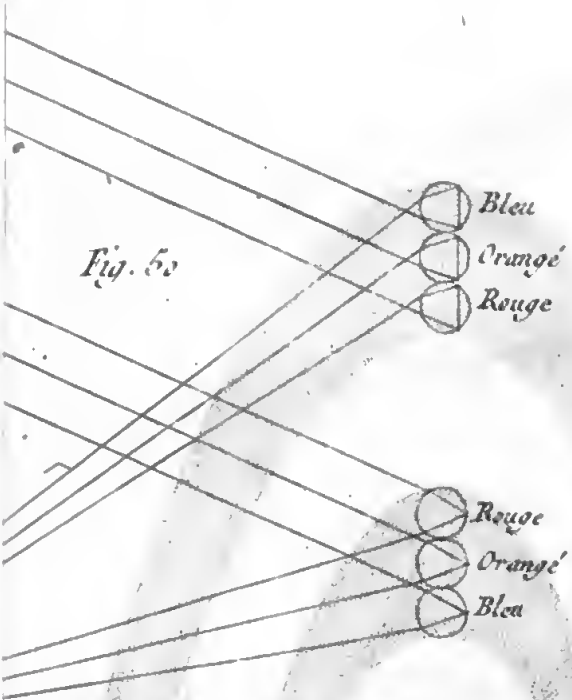
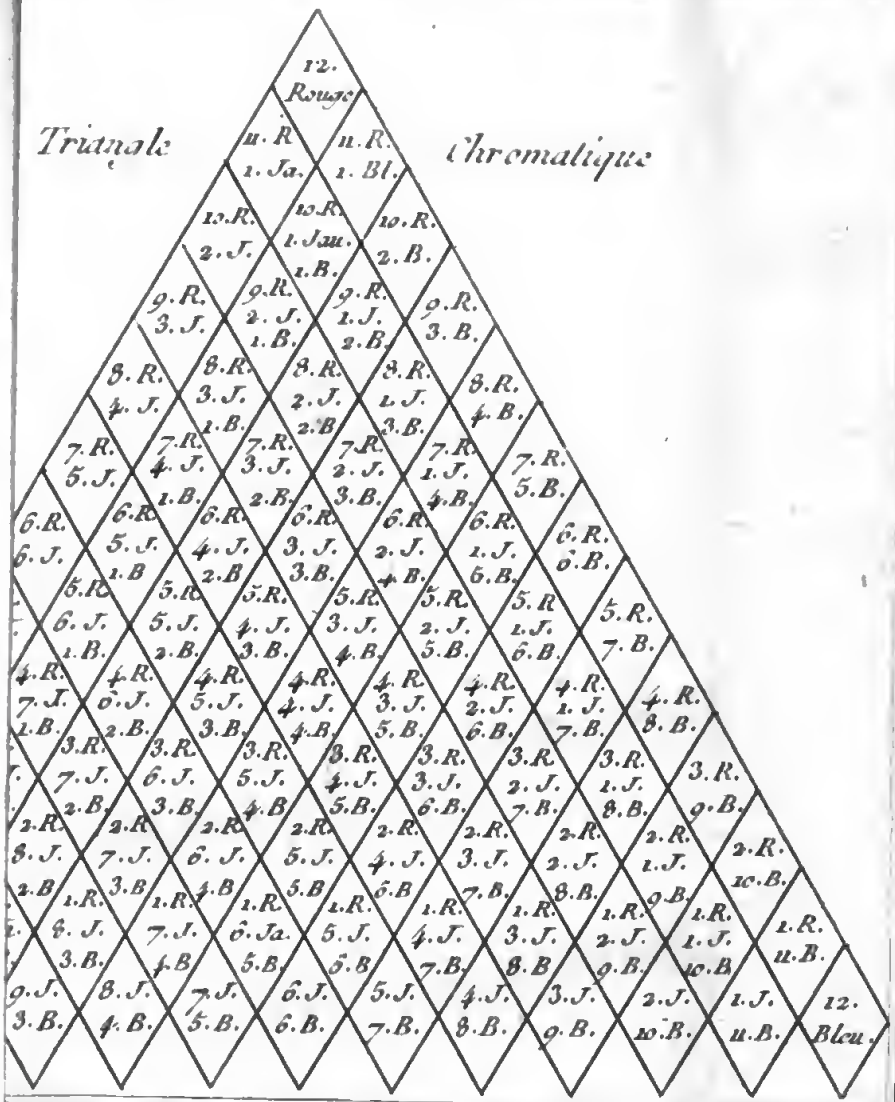



Fig. 50

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

*Triangle Chromatique*



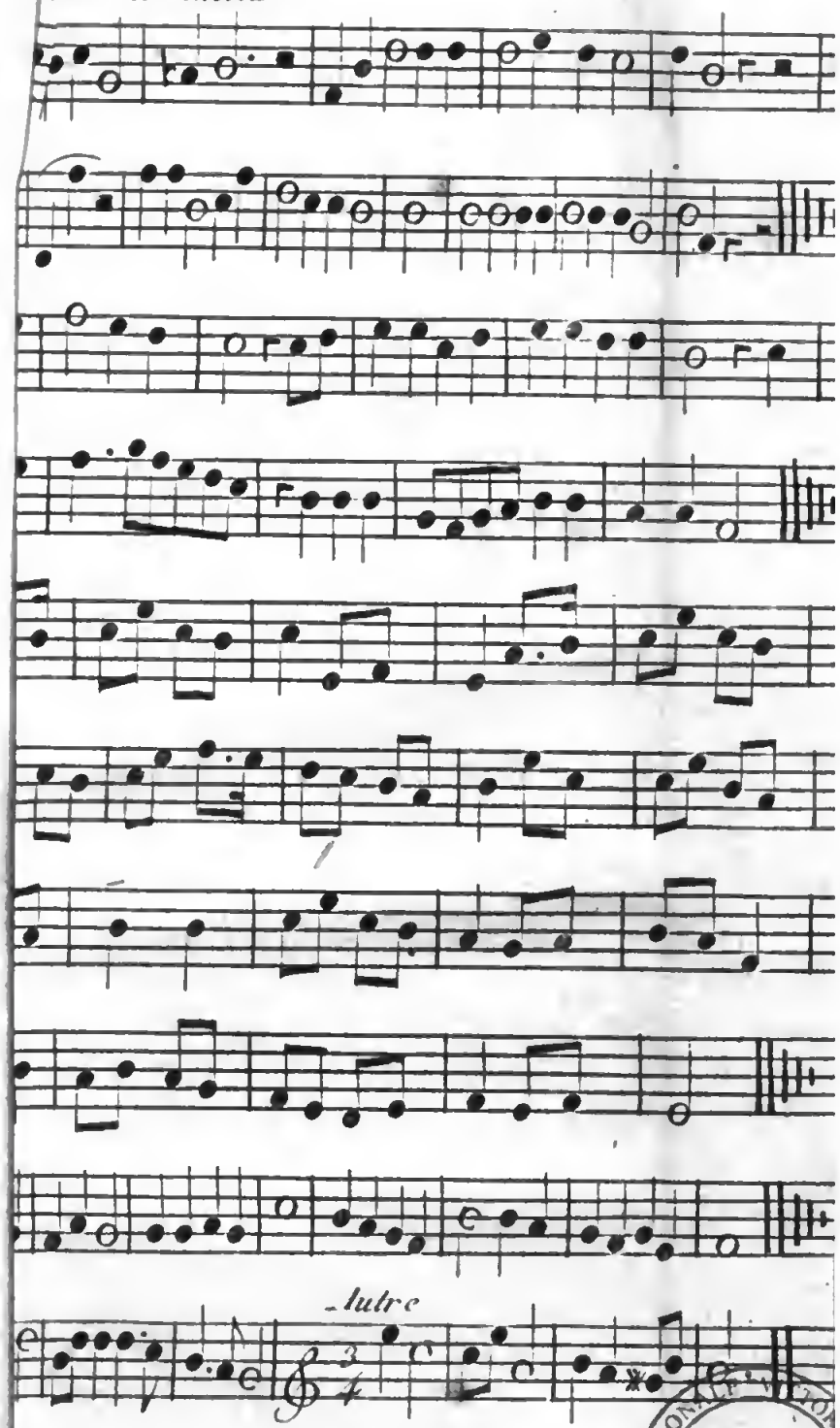

*Acoustique ou Musique.*

*Fig. 2.*

*Fig. 3.*

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" · NAPOLI

*mne a Nemelis.*




BIBLIOTECA NAZIONALE NAPOLI

# TABLE
## DES MATIERES
### DU SECOND VOLUME.

## *TROISIEME PARTIE.*
### MÉCANIQUE.

PROBLÊME PREMIER. *Faire qu'une boule rétrograde ſans aucun obſtacle apparent.* 2
PROB. II. *Faire une boule trompeuſe au jeu de Quilles.* 3
PROB. III. *Comment on peut conſtruire une balance qui paroiſſe juſte étant vuide, auſſi-bien que chargée de poids inégaux.* 4
PROB. IV. *Trouver le centre de gravité de pluſieurs poids.* 5
PROB. V. *Trouver les parties d'un poids que deux perſonnes ſoutiennent à l'aide d'un levier ou d'une barre qu'elles portent par ſes extrémités.* 9
PROB. VI. *Comment on peut diſtribuer commodément 4, 8, 16, 32 hommes, à porter un fardeau conſidérable ſans s'embarraſſer.* 10
PROB. VII. *Une corde ACB, d'une longueur déterminée, étant attachée lâche par ſes deux bouts, à deux points d'inégale hauteur A & B, on demande quelle poſition prendra le poids P, atta-*

*ché par un cordon à une poulie qui roule librement ſur cette corde.* 11

PROB. VIII. *Faire ſoutenir un ſeau plein d'eau, par un bâton dont une moitié ou moins repoſe ſur le bord d'une table.* ibid.

PROB. IX. *Faire tenir un bâton droit ſur le bout du doigt, ſans qu'il puiſſe tomber.* 13

PROB. X. *Conſtruction d'une figure qui, ſans contre-poids, ſe releve toujours d'elle-même & ſe tient debout, quoi qu'on faſſe.* 14

PROB. XI. *Sur les deux poulies A, B, paſſe une corde ACB, aux extrémités de laquelle ſont ſuſpendus les poids P & Q donnés; au point C eſt fixé le poids R par le cordon RC noué en C. On demande quelle ſera la poſition que prendront les trois poids & la corde ACB.* 15

PROB. XII. *Calcul du temps qu'Archimede eût employé, en ſuppoſant l'exécution de la machine dont il parloit à Hiéron, pour mouvoir la terre.* 17

PROB. XIII. *Avec une très-petite quantité d'eau, comme de quelques livres, produire l'effet de pluſieurs milliers de livres.* 18

*Autre maniere.* 19

*Autre maniere.* 20

PROB. XIV. *Trouver la peſanteur d'un pied cube d'eau.* 21

PROB. XV. *Connoître de deux liqueurs laquelle eſt la plus légere.* 22

PROB. XVI. *Connoître ſi une piece ou une maſſe d'or ou d'argent, qu'on ſoupçonne de mélange, eſt pure ou non.* 27

PROB. XVII. *Même ſuppoſition faite que ci-deſſus, connoître la quantité du mélange fait dans la maſſe d'or.* 29

PROB.

PROB. XVIII. *On propoſe deux coffres égaux, ſemblables & également peſants, contenant l'un de l'or, l'autre de l'argent. Eſt-il poſſible de diſcerner, par quelque voie mathématique, celui qui renferme l'or de celui qui contient l'argent? Ou bien, ſuppoſant deux boules, l'une d'or creuſe, l'autre d'argent ſolide & ſurdorée, pourroit-on diſcerner celle d'argent de celle d'or?* 31

PROB. XIX. *Deux plans inclinés, AB, AD, étant donnés, & deux ſpheres inégales, P & p, les mettre en équilibre dans cet angle, comme l'on voit dans la figure.* 32

PROB. XX. *Deux corps P & Q partent en même temps des deux points A & B de deux lignes données de poſition, & ſe meuvent vers* a & b *avec des viteſſes données. On demande leur poſition lorſqu'ils ſeront le plus près l'un de l'autre qu'il eſt poſſible.* 34

PROB. XXI. *Faire qu'un cylindre ſe ſoutienne de lui-même le long d'un plan incliné à l'horizon, ſans rouler en bas, & même qu'il monte quelque peu le long de ce plan.* ibid.

PROB. XXII. *Conſtruction d'une horloge qui montre les heures, en roulant le long d'un plan incliné.* 37

PROB. XXIII. *Conſtruction d'un habillement au moyen duquel on ne ſçauroit couler à fond, & qui laiſſe la liberté de tous les mouvements.* 38

PROB. XXIV. *Conſtruire un bateau qui ne ſçauroit être ſubmergé, quand même l'eau y entreroit de tous les côtés.* 41

PROB. XXV. *Comment on peut retirer du fond de la mer un vaiſſeau qui a coulé bas.* 43

PROB. XXVI. *Faire qu'un corps monte comme de lui-même le long d'un plan incliné, en vertu de ſa propre peſanteur.* 45

PROB. XXVII. *Conſtruire une horloge avec de l'eau.* 46

PROB. XXVIII. *Un point étant donné, & une ligne qui n'eſt pas horizontale, trouver la poſition du plan incliné, par lequel un corps partant du point donné, & roulant le long de ce plan, parviendra à cette ligne dans le moindre temps.* 48

PROB. XXIX. *Les points A & B étant donnés dans la même horizontale, on demande la poſition des deux plans AC, CB, tels qu'un corps roulant d'un mouvement accéléré de A en C, puis remontant avec ſa viteſſe acquiſe le long de CB, cela ſe faſſe dans le moindre temps poſſible.* 49

PROB. XXX. *Lorſqu'on a un puits extrêmement profond, avec une chaîne garnie de deux ſeaux, faire enſorte que, dans toutes les poſitions des ſeaux, le poids de la chaîne ſoit nul, de maniere qu'on n'ait jamais à élever que le poids dont le ſeau montant eſt rempli.* 51

PROB. XXXI. *Conſtruction d'un tournebroche qui marche au moyen même du feu de la cheminée.* 53

PROB. XXXII. *Qu'eſt-ce qui ſoutient debout une toupie ou un toton qui tourne?* 55

PROB. XXXIII. *D'où vient ſoutient-on plus aiſément en équilibre ſur le bout de ſon doigt un bâton chargé à ſon extrémité ſupérieure d'un poids, que lorſque ce poids eſt en bas, par exemple, une épée ſur ſa pointe plutôt que ſur ſa garde?* ibid.

PROB. XXXIV. *Quelle eſt la poſition la plus avantageuſe des pieds pour ſe ſoutenir ſolidement debout ?* 56

PROB. XXXV. *Du Jeu de Billard.* 58

§. I. *La poſition de la belouſe & celles des deux billes M, N, étant données, frapper celle M de ſon adverſaire enſorte qu'elle aille dans la belouſe.* 59

§. II. *Frapper une bille de bricole.* 60

§. III. *Une bille venant d'en choquer une autre ſelon une direction quelconque, quelle eſt, après ce choc, la direction de la bille choquante ?* 61

PROB. XXXVI. *Conſtruction d'une Pendule d'eau.* 63

PROB. XXXVII. Paradoxe mécanique. *Comment, dans une balance, des poids égaux placés à quelque diſtance que ce ſoit du point d'appui, ſe tiennent en équilibre.* 67

PROB. XXXVIII. *Quelle eſt la viteſſe qu'on doit donner à une machine mue par un courant d'eau, pour qu'elle produiſe le plus grand effet ?* 69

PROB. XXXIX. *Quel eſt le nombre d'aubes qu'on doit mettre à une roue mue par un courant d'eau, pour qu'elle produiſe le plus grand effet ?* 70

PROB. XL. *Un bâton ou cylindre plein, & un autre creux & de même ſolidité, étant propoſés, lequel des deux réſiſtera davantage à être rompu par un poids ſuſpendu à une de leurs extrémités, l'autre étant fixe ? On les ſuppoſe de la même longueur.* 71

PROB. XLI. *Fabriquer une lanterne qui conſerve la lumiere au fond de l'eau.* 72

PROB. XLII. *Conſtruire une lampe qui, dans toutes ſes ſituations, conſerve ſon huile, quel-*

*que mouvement & quelque inclinaiſon qu'on lui donne.* 73

PROB. XLIII. *Conſtruction d'un anémoſcope & d'un anémometre.* 74

PROB. XLIV. *Conſtruction d'un peſon, au moyen duquel on puiſſe ſans poids meſurer la peſanteur des corps.* 77

PROB. XLV. *Fabriquer une voiture dont un goutteux puiſſe ſe ſervir pour ſe promener, ſans ſecours d'hommes ou de chevaux.* 80

PROB. XLVI. *Conſtruction d'une petite figure qui, livrée à elle-même, deſcend ſur ſes pieds & ſes mains le long d'un petit eſcalier.* 83

PROB. XLVII. *Diſpoſer trois bâtons ſur un plan horizontal, de ſorte que chacun s'appuie ſur ce plan par l'une de ſes extrémités, & que les trois autres ſe ſoutiennent mutuellement en l'air.* 87

PROB. XLVIII. *Conſtruire un tonneau contenant trois liqueurs, qu'on pourra tirer à volonté par la même broche, ſans ſe mêler.* ibid.

PROB. XLIX. *Percer une planche avec un corps mou, comme un bout de chandelle.* 88

PROB. L. *Rompre avec un bâton un autre bâton poſé ſur deux verres, ſans les caſſer.* 89

PROB. LI. *Principes pour juger de l'effet poſſible d'une machine.* 91

PROB. LII. *Du Mouvement Perpétuel.* 94

PROB. LIII. *Juger de la hauteur de la voûte d'une égliſe, par les vibrations des lampes qui y ſont ſuſpendues.* 98

PROB. LIV. *Meſurer la profondeur d'un puits par le temps écoulé entre le commencement de la chute d'un corps, & celui où l'on entend le bruit de ſon arrivée à la ſurface de l'eau.* 100

*HISTOIRE de quelques ouvrages de Mécanique extraordinaires & célebres.* 102

§. I. *Des Machines ou Automates d'Architas, d'Archimede, de Héron & Ctéſibius.* ibid.

§. II. *Des Machines attribuées à Albert le Grand, à Régiomontanus, &c.* 103

§. III. *De diverſes Horloges célebres.* 104

§. IV. *Machines automates du pere Truchet, de M. Camus, & de M. de Vaucanſon.* 107

§. V. *De la Machine de Marly.* 110

§. VI. *De la Machine à Feu.* 115

*TABLE des Peſanteurs ſpécifiques de divers corps, celle de l'Eau de pluie ou diſtillée étant ſuppoſée l'unité, & exprimée en parties décimales, comme 1.000 ou 1.0000.* 121

*Métaux.* ibid.

*Pierres précieuſes.* 122

*Liqueurs.* ibid.

*Bois.* 124

*Diverſes Subſtances.* ibid.

*Matériaux employés à Paris en architecture.* ibid.

*Remarque générale.* 125

*TABLE des Poids, tant anciens que modernes, comparés à la livre de Paris, qui contient 16 onces ou 9216 grains.* 127

Poids anciens. *Poids des Hébreux.* 128

*Poids Grecs Attiques.* ibid.

*Poids Romains.* 129

Poids modernes *des principaux pays & lieux de l'univers, & particuliérement de l'Europe.* ibid.

*Remarque.* 131

# QUATRIEME PARTIE.

## OPTIQUE.

*SUR la nature de la lumiere.* 134
PROBLÊME PREMIER. *Repréſenter dans une chambre fermée les objets extérieurs, avec leurs couleurs & leurs proportions naturelles.* 140
PROB. II. *Conſtruire une chambre obſcure qu'on puiſſe tranſporter.* 142
§. I. *Repréſenter les objets dans leur ſituation naturelle.* 145
§. II. *Repréſenter les objets, en faiſant paroître à droite ce qui eſt à gauche; & au contraire.* 146
§. III. *Repréſenter tour-à-tour tous les objets qui ſont aux environs & autour de la machine.* ibid.
§. IV. *Repréſenter des peintures & des tailles-douces.* 147
PROB. III. *Expliquer la maniere dont ſe fait la viſion, & ſes principaux phénomenes.* 148
PROB. IV. *Conſtruction d'un œil artificiel, propre à rendre ſenſible la raiſon de tous les phénomenes de la viſion.* 151
PROB. V. *Faire qu'un objet, vu de loin ou de près, paroiſſe toujours de la même grandeur.* 156
PROB. VI. *Deux parties inégales d'une même ligne droite étant données, ſoit qu'elles ſoient adjacentes ou non, trouver le point d'où elles paroîtront égales.* ibid.
PROB. VII. *Au devant d'un édifice, dont CD eſt la face, eſt un parterre dont la longueur eſt AB.*

*On demande le point de cet édifice d'où l'on verra le parterre AB le plus grand.* 158

PROB. VIII. *Un cercle étant donné ſur le plan horizontal, trouver la poſition de l'œil d'où ſon image ſur le plan perſpectif ſera encore un cercle.* 159

PROB. IX. *D'où vient l'image du ſoleil, reçue dans la chambre obſcure par un trou quarré ou triangulaire, eſt-elle toujours un cercle?* 160

PROB. X. *Faire voir diſtinctement, ſans l'interpoſition d'aucun verre, un objet trop proche de l'œil pour être apperçu diſtinctement.* 162

PROB. XI. *Pourquoi, en dirigeant ſes yeux de maniere à voir un objet fort éloigné, voit-on doubles les objets proches; & au contraire?* ibid.

PROB. XII. *Faire qu'un objet vu diſtinctement, & ſans l'interpoſition d'aucun corps opaque ou diaphane, paroiſſe renverſé à l'œil nu.* 164

PROB. XIII. *Faire qu'un objet, ſans l'interpoſition d'aucun autre, diſparoiſſe à l'œil nu tourné de ſon côté.* 165

PROB. XIV. *Faire diſparoître un objet aux deux yeux à-la-fois, quoiqu'il puiſſe être vu de chacun d'eux à part.* 166

PROB. XV. *Jeu optique, qui prouve qu'avec un ſeul œil on ne juge pas bien de la diſtance d'un objet.* 167

PROB. XVI. *Un aveugle de naiſſance ayant recouvré la vue, on lui préſente un globe & un cube, qu'il a appris à diſcerner par le toucher. On demande ſi, ſans le ſecours du tact & à la premiere vue, il pourra dire quel eſt le cube, quel eſt le globe.* ibid.

PROB. XVII. *Conſtruction d'une machine au moyen de laquelle on pourra décrire perſpectivement tous*

*les objets donnés, ſans la moindre teinture de la ſcience de la perſpective.* 169

PROB. XVIII. *Autre maniere de repréſenter un objet en perſpective, ſans aucune connoiſſance des principes de cet art.* 171

PROB. XIX. *De la grandeur apparente des aſtres à l'horizon.* 173

PROB. XX. *Sur le rétréciſſement des allées paralleles.* 176

PROB. XXI. *Comment faudroit-il s'y prendre pour tracer une allée qui, vue de l'une de ſes extrémités, parût avoir ſes côtés parfaitement paralleles?* 178

PROB. XXII. *Faire un tableau qui, ſuivant les côtés d'où on le conſidérera, préſentera deux peintures différentes.* 179

PROB. XXIII. *Décrire ſur un plan une figure difforme, qui paroiſſe dans ſes proportions étant vue d'un point déterminé.* 180

PROB. XXIV. *Etant donné un quadrilatere quelconque, trouver les divers parallélogrammes ou rectangles dont il peut être la repréſentation perſpective;* ou bien,

*Etant donné un parallélogramme quelconque, rectangle ou non, trouver ſa poſition & celle de l'œil, qui feront que ſa repréſentation perſpective ſera un quadrilatere donné.* 183

Des Miroirs plans. 186

PROB. XXV. *Un point de l'objet B & le lieu de l'œil A étant donnés, trouver le point de réflexion ſur la ſurface d'un miroir plan.* ibid.

PROB. XXVI. *Même ſuppoſition faite que ci-deſſus, trouver le lieu de l'image du point B.* 187

PROB. XXVII. *Etant donnés pluſieurs miroirs plans, & les places de l'œil & de l'objet, trouver le chemin du rayon venant de l'objet à l'œil, après deux, trois, quatre réflexions.* 188

PROB. XXVIII. *Propriétés diverſes des Miroirs plans.* 190

PROB. XXIX. *Diſpoſer pluſieurs miroirs de maniere qu'on puiſſe ſe voir dans chacun en même temps.* 193

PROB. XXX. *Meſurer une hauteur verticale, & dont le pied eſt même inacceſſible, au moyen de la réflexion.* 194

PROB. XXXI. *Meſurer une hauteur verticale, inacceſſible même par le pied, au moyen de ſon ombre.* 195

PROB. XXXII. *De quelques tours ou eſpeces de ſubtilités qu'on peut exécuter avec des miroirs plans.* 196

1. *Tirer par deſſus l'épaule un coup de piſtolet auſſi ſûrement que ſi l'on couchoit en joue.* ibid.

2. *Faire une boîte dans laquelle on verra des corps peſants, comme une balle de plomb, monter contre leur inclination naturelle.* 197

3. *Conſtruction d'une boîte où l'on voit des objets tout différents de ceux qu'on auroit vus par une autre ouverture, quoique les uns & les autres paroiſſent occuper toute la boîte.* ibid.

4. *Voir d'un premier étage ceux qui ſe préſentent à la porte de la maiſon, ſans ſe mettre à la fenêtre & ſans être apperçu.* 199

PROB. XXXIII. *Avec des miroirs plans, produire le feu & l'incendie à une diſtance conſidérable.* 200

Des Miroirs ſphériques, ſoit convexes, ſoit concaves. 202

PROB. XXXIV. *Le lieu de l'objet & celui de l'œil étant donnés, déterminer le point de réflexion & le lieu de l'image ſur un miroir ſphérique.* ibid.

PROB. XXXV. *Propriétés principales des miroirs ſphériques convexes & concaves.* 205

PROB. XXXVI. *Des Miroirs ardents.* 207

PROB. XXXVII. *Quelques propriétés des miroirs concaves, relativement à la viſion, ou à la formation des images.* 213

PROB. XXXVIII. *Conſtruire une boîte ou chambre optique, où l'on voie les objets plus grands que la boîte.* 216

Des Miroirs cylindriques, coniques, &c; & des déformations qu'on exécute par leur moyen, 217

PROB. XXXIX. *Décrire ſur un plan horizontal une figure difforme, qui paroiſſe belle étant vue d'un point donné, par réflexion ſur la ſurface convexe d'un miroir cylindrique droit.* 218

PROB. XL. *Décrire ſur un plan horizontal une figure difforme, qui paroiſſe belle étant vue par réflexion ſur la ſurface d'un miroir conique, d'un point donné dans l'axe de ce cône prolongé.* 221

PROB. XLI. *Exécuter la même choſe par le moyen d'un miroir pyramidal.* 223

Des Verres lenticulaires, ou lentilles de verre. 224

PROB. XLII. *Trouver le foyer d'un globe de verre.* 225

PROB. XLIII. *Trouver le foyer d'une lentille quelconque de verre.* 227

Des Verres Ardents. 230

PROB. XLIV. *De quelques autres propriétés des verres lenticulaires.* 233

*Des Lunettes d'approche ou Téleſcopes, tant de réfraction que de réflexion.* 234

*Des Lunettes de réfraction.* 235

*Des Téleſcopes à réflexion.* 240

PROB. XLV. *Conſtruction d'une lunette par laquelle on peut conſidérer un objet différent de celui auquel on paroît mirer.* 245

Des Microſcopes. 247

PROB. XLVI. *Conſtruction du Microſcope ſimple.* ibid.

PROB. XLVII. *Des Microſcopes compoſés.* 250

PROB. XLVIII. *Maniere fort ſimple de juger de la grandeur réelle des objets vus dans le microſcope.* 253

PROB. XLIX. *Conſtruire un tableau magique, ou tel qu'étant vu dans un certain point & à travers un verre, il préſentera un objet tout différent de celui qu'on verra à l'œil nu.* 254

PROB. L. *Conſtruction d'une lanterne artificielle, avec laquelle on puiſſe lire la nuit de fort loin.* 260

PROB. LI. *Conſtruction de la Lanterne magique.* ibid.

PROB. LII. *Conſtruction du Microſcope ſolaire.* 263

PROB. LIII. *Des Couleurs, & de la différente réfrangibilité de la Lumiere.* 265

PROB. LIV. *De l'Arc-en-ciel : comment il ſe forme, & maniere de l'imiter.* 269

PROB. LV. *De l'analogie entre les couleurs & les tons de la Muſique. Du Claveſſin oculaire du pere Caſtel.* 274

PROB. LVI. *Compoſer un tableau repréſentant toutes les couleurs, & déterminer leur nombre.* 278

PROB. LVII. *D'où vient la couleur bleue du ciel ?* 281

PROB. LVIII. *Pourquoi, dans certains temps, les ombres des corps ſont bleues ou azurées, au lieu d'être noires ?* 283

PROB. LIX. *Expérience ſur les Couleurs.* 284

PROB. LX. *Conſtruction d'un photophore ou porte-lumiere, très-commode & très-avantageux pour éclairer une table où l'on lit ou écrit.* 285

PROB. LXI. *La place d'un objet, par exemple d'un papier ſur une table, étant déterminée, & celle du pied du flambeau qui doit l'éclairer, déterminer la hauteur à laquelle il faut placer cette lumiere pour que cet objet ſoit le plus éclairé qu'il eſt poſſible.* 287

PROB. LXII. *Quel eſt le rapport de la lumiere de la lune à celle du ſoleil ?* 288

PROB. LXIII. *De quelques illuſions optiques.* 290

PROB. LXIV. *Eſt-il vrai que la lumiere ſe réfléchit plus vivement de deſſus l'air que de deſſus l'eau ?* 293

PROB. LXV. *Expoſition d'un phénomene non-apperçu ou négligé par les Phyſiciens.* 296

PROB. LXVI. *De quelques autres Phénomenes curieux des Couleurs & de la Viſion.* 297

PROB. LXVII. *Déterminer combien de temps la ſenſation de la lumiere dure dans l'œil.* 300

*SUPPLÉMENT, contenant un précis d'Obſervations microſcopiques les plus curieuſes.* 301

§. I. *Des animaux ou prétendus animaux du vinaigre & des infuſions des plantes.* 302

§. II. *Des Animaux ſpermatiques.* 305

§. III. *Des Animaux ou Molécules mobiles du blé vicié.* 309

§. IV. *Des Mouvements de la Tremella.* 310

§. V. *De la Circulation du Sang.* 312

§. VI. *De la Compoſition du Sang.* 314

§. VII. *De la Peau, de ſes Pores & de ſes Ecailles.* ibid.

§. VIII. *Des Poils des Animaux.* 316

§. IX. *Singularités des Yeux dans la plupart des Inſectes.* ibid.

§. X. *Des Mites du fromage, & autres.* 318

§. XI. *Le Pou & la Puce.* 319

§. XII. *La Moiſiſſure.* 321

§. XIII. *La Pouſſiere du Lycoperdon.* 322

§. XIV. *De la Pouſſiere des étamines des Fleurs.* 323

§. XV. *Les Trous apparents de quelques feuilles de Plantes.* ibid.

§. XVI. *Le Duvet des Plantes.* 324

§. XVII. *Des Etincelles qu'on tire d'un fuſil d'acier avec une pierre.* ibid.

§. XVIII. *Les Aſpérités des corps qui paroiſſent les plus polis & les plus tranchants.* 325

§. XIX. *Des Sables vus au Microſcope.* 326

§. XX. *Les Pores du Charbon.* ibid.

## CINQUIEME PARTIE.

### ACOUSTIQUE ET MUSIQUE.

ARTICLE PREMIER. *En quoi consiste le son : comment il se répand, & se transmet à notre organe : expériences relatives à cet objet : des diverses manieres de produire le son.* 330

ARTICLE II. *Sur la viteſſe du ſon : expériences pour la déterminer : maniere de meſurer les diſtances par ce moyen.* 334

ARTICLE III. *Comment les ſons peuvent ſe répandre dans tous les ſens ſans confuſion.* 337

ARTICLE IV. *Des échos : leur production : hiſtoire des Echos les plus célebres : de quelques autres phénomenes analogues.* 340

ARTICLE V. *Expériences ſur les vibrations des cordes ſonores, qui ſont la baſe de la Muſique théorique.* 347

PROBLÊME. *Déterminer le nombre de vibrations que fait une corde de longueur & de groſſeur données, & tendue par un poids donné ;* ou bien, *quel eſt le nombre de vibrations qui forme un ton aſſigné ?* 351

ARTICLE VI. *Maniere d'ajouter, ſouſtraire les Accords entr'eux, les diviſer, les multiplier, &c.* 356

PROB. I. *Ajouter deux accords entr'eux.* 356

PROB. II. *Souſtraire un accord d'un autre.* 357

PROB. III. *Doubler ou multiplier un accord autant de fois qu'on voudra.* 358

PROB. IV. *Diviſer un accord par tel nombre qu'on voudra, ou trouver un accord qui ſoit la moitié, le tiers, &c. d'un accord donné.* 359

ARTICLE VII. *De la Réſonnance du corps ſonore, principe fondamental de l'harmonie & de la mélodie : autres phénomenes harmoniques.* ibid.

QUESTION. *Les ſons harmoniques qu'on entend avec le ſon principal, ont-ils leur ſource immédiate dans le corps ſonore, ou réſident-ils ſeulement dans l'air ou dans l'organe ?* 364

ARTICLE VIII. *Des différents Syſtêmes de Muſique, Grec, Moderne, & de leurs particularités.* 366

§. I. *De la Muſique Grecque.* ibid.

§. II. *De la Muſique Moderne.* 371

ARTICLE IX. *Paradoxes muſicaux.* 377

§. I. *On ne peut entonner juſte ces ſons,* ſol, ut, la, re, ſol, *ſçavoir, de* ſol *à* ut *en montant, de* ut *à* la *en deſcendant de tierce mineure, puis montant de quarte à* re, *& redeſcendant de* re *à* ſol, *de quinte ; on ne peut, dis-je, entonner juſte ces intervalles, & faire le ſecond* ſol *à l'uniſſon du premier.* ibid.

§. II. *Dans un inſtrument à touches, comme dans un claveſſin, il eſt impoſſible que les tierces & les quintes ſoient enſemble juſtes.* 378

§. III. *Une note inférieure, par exemple* re, *affectée du dieſe, n'eſt pas la même choſe que la note ſupérieure* mi, *affectée du bémol ; & ainſi des autres notes diſtantes d'un ton entier.* 380

ARTICLE X. *Quelle eſt la cauſe du plaiſir muſical? Des effets de la muſique ſur les hommes & ſur les animaux.* 381

ARTICLE XI. *Des propriétés de quelques inſtruments, ſur-tout des inſtruments à vent.* 389

ARTICLE XII. *Du ſon fixe: maniere de le tranſmettre & de le conſerver.* 392

ARTICLE XIII. *Application ſinguliere de la muſique à une queſtion de mécanique.* 395

ARTICLE XIV. *Quelques conſidérations ſingulieres ſur les* dieſes *& ſur les* bémols, *ainſi que ſur leur progreſſion dans leur différents tons.* 397

ARTICLE XV. *Maniere de perfectionner les Inſtruments à cylindre, & de les rendre capables d'exécuter toutes ſortes d'airs.* 402

ARTICLE XVI. *De quelques Inſtruments ou Machines de Muſiques, remarquables par leur ſingularité ou leur compoſition.* 407

ARTICLE XVII. *D'un inſtrument nouveau, appellé* harmonica. 409

ARTICLE XVIII. *De quelques idées bizarres relatives à la Muſique.* 412

Fin de la Table du ſecond Volume.

609648